

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA EKOLOGIE

**Možnosti výzkumu kontaminace sedimentů v oblastech
s historickou těžební a hutní aktivitou**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Jan Horák

Bakalant: Petr Herčík

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Herčík

Územní technická a správní služba

Název práce

Možnosti výzkumu kontaminace sedimentů v oblastech s historickou těžební a hutní aktivitou

Název anglicky

Possibilities of sediment contamination research in regions of historical mining and smelting activities

Cíle práce

Cílem práce je stanovení možností studia kontaminace přírodního prostředí v souvislosti s historickou těžbou.

Metodika

Metodika je členěna do 3 částí. První je založena na rešerši literatury (projekty výzkumu historické těžby v zájmových regionech, literatura zabývající se historickou kontaminací, literatura zabývající se kontaminací přírodního prostředí obecně). Druhou částí je terénní výzkum zaměřený na vyhledání lokalit vhodných pro odběr vzorků říčních sedimentů a odběr vzorků vhodných pro zjištění hodnot přirozeného pozadí kontaminantů.

Analytická část práce probíhá měřením obsahu kontaminantů v sedimentu metodou XRF spektroskopie a následným statistickým a matematickým zpracováním výsledků. Mezi ty patří zjištění poměru obsahu ve sledovaných vzorcích vůči přirozenému pozadí, ze statistických metod např. faktorová analýza.

Doporučený rozsah práce

– nezadáno –

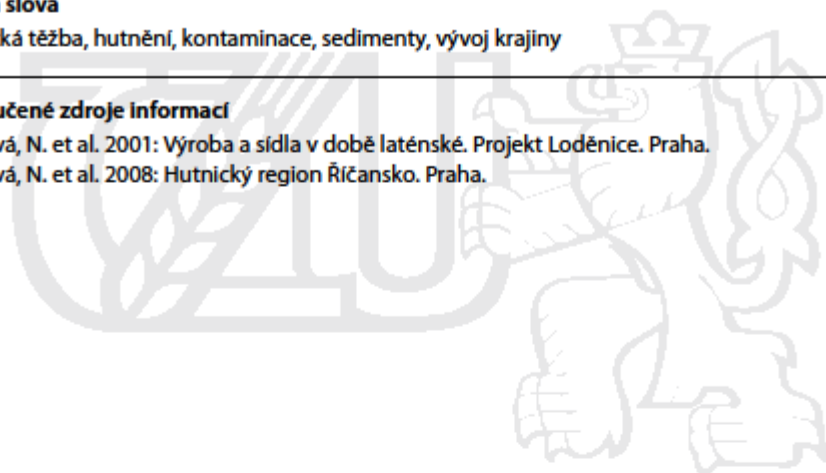
Klíčová slova

historická těžba, hutnění, kontaminace, sedimenty, vývoj krajiny

Doporučené zdroje informací

Venclová, N. et al. 2001: Výroba a sídla v době laténské. Projekt Loděnice. Praha.

Venclová, N. et al. 2008: Hutnický region Říčansko. Praha.



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Mgr. Jan Horák

Elektronicky schváleno dne 13. 11. 2014

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jana Horáka, a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 14. 4. 2015

.....

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval hlavně Mgr. Janu Horákovi, který mne odborně vedl při práci, sběru vzorků a jejich analýze. Dále pak rodině a přátelům za jejich podporu během studia a zpracování bakalářské práce.

V Praze 14. 4. 2015

.....

Abstrakt

V době laténské a římské probíhala na našem území rozsáhlá těžební a hutnická činnost, zaměřená na výrobu železa. Ačkoliv řada z těchto hutnických oblastí je velmi dobře archeologicky zdokumentována, žádná ze studií se zde nezabývala aspektem dopadu hutní aktivity na přírodní prostředí. Cílem této práce bylo zjistit nejlepší způsob výzkumu kontaminace v území spojeném s výrobou železa, případně identifikovat kontaminované půdy a sedimenty. Průzkum probíhal v hutnickém regionu Loděnice (západně od Prahy), odebráním povrchových vzorků z lokalit s potvrzenou hutnickou aktivitou, vzorků sedimentu z půdních vrtů v nivě blízkého potoka a na místech bez jakékoliv historické aktivity. Ve vzorcích byl stanoven obsah chemických prvků metodou XRF spektrometrie, s následným statistickým zpracováním dat pomocí analýzy hlavních komponent, faktorové analýzy a analýzy rozptylu.

Klíčová slova: historická těžba, hutnění, kontaminace, sedimenty, vývoj krajiny

Summary

The La Tène Period and the Roman Iron Age in our country was characterized by an intensive iron ore mining and smelting activities. Although many of these smelting regions have been deeply studied from the archaeological point of view, there is no study focused also on the possible negative effects of the historical iron industry on the local environment. Therefore, the aim of this study was to determine the most suitable approach to study the contamination in iron production regions and possibly to identify contaminated sediments. The research carried out in the Loděnice smelting region (westward from Prague) consisted of the collection of samples from both the area with an archeologically proved mining activity (sampling of the land surface) and the floodplain of the near located stream (sediment borehole sampling). Beside these, other samples were collected also from the areas with no historical mining and smelting activity. The content of various elemental contaminants was determined using XRF spectrometry and the data were processed with the methods of statistical analysis (principal component analysis, factor analysis, analysis of variance).

Key words: historical mining and smelting, contamination, sediments, landscape development

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce	11
3. Literární rešerše	12
3.1 Datace a základní charakteristika doby laténské a římské	12
3.1.1 Doba laténská (označovaná také jako mladší doba železná).....	12
3.1.2 Doba římská	14
3.2 Hutnická výroba železa v době laténské a římské	15
3.2.1 Zdroje železných rud využívané minulými populacemi	16
3.2.2 Těžba a hutnění železných rud	17
3.3 Kontaminace přírodního prostředí.....	18
3.3.1 Hlavní obory studia kontaminantů v prostředí	20
4. Charakteristika studijního území.....	22
4.1 Přírodní podmínky studijního území.....	22
4.1.1 Geologie	22
4.1.2 Geomorfologie	23
4.1.3 Klima.....	24
4.1.4 Hydrologie.....	24
4.1.5 Půdy.....	24
4.1.6 Vegetace.....	25
4.2 Region Loděnice v době laténské a římské.....	25
4.2.1 Zdroje rud a lokalizace těžby a hutnění v regionu Loděnice.....	28
5. Metodika	30
5.1 Výběr zájmové oblasti.....	30
5.2 Terénní odběr vzorků.....	31
5.2.1 Půdní vrty	33
5.2.2 Povrchový sběr.....	33

5.3	Zpracování a analýza vzorků	33
5.4	Statistické zpracování a vyhodnocení dat	34
5.4.1	Rozdělení vzorků do kategorií dle evidovaných charakteristik	34
5.4.2	Výběr analyzovaných prvků pro statistické zpracování.....	34
5.4.3	Použité nástroje statistické analýzy.....	34
6.	Výsledky práce	37
6.1	Zhodnocení půdních profilů ve vrtech v nivě potoka Loděnice	37
6.2	Výběr analyzovaných prvků pro statistické zpracování.....	37
6.3	Analýza hlavních komponent (PCA) a faktorová analýza (FA).....	38
6.4	Analýza rozptylu (ANOVA)	40
6.4.1	Kategorie: Lokalita.....	40
6.4.2	Kategorie: Hloubka vrtu.....	44
6.4.3	Kategorie: Poloha vrtu	45
7.	Diskuse	46
7.1	Koncentrace analyzovaných prvků ve vzorcích.....	46
7.2	Výsledky PCA, faktorové analýzy a ANOVA	47
7.3	Využitelnost prvků v dalším výzkumu	49
8.	Závěr.....	51
9.	Přehled literatury a použitých zdrojů	52
10.	Přílohy	60

1. Úvod

Těžební a hutní aktivita po sobě v životním prostředí zanechává trvalé stopy, především v podobě kontaminace půdního a vodního systému těžkými kovy. Jelikož tato kontaminace má většinou výrazně negativní dopad na okolní prostředí, je důkladné studium jednotlivých zdrojů a charakteru kontaminace za účelem jejich omezení a prevence velmi významné. Ačkoliv převážná většina studií se zabývá zkoumáním dopadu současné (či relativně nedávné) těžby a zpracování nerostných surovin, nemalý význam pro životní prostředí má i historická hutní aktivita. Její dopady na životní prostředí se totiž mohou s odstupem projevit i v dnešní době.

V rámci této bakalářské práce byla zkoumána kontaminace životního prostředí v důsledku historické těžby a hutnění železa a možnosti jejího dalšího výzkumu. Jako pracovní území byly pro tyto účely vybrány původně dvě oblasti s doloženou historickou produkcí železa – oblast povodí potoka Loděnice a region Říčansko. Nesporným faktorem pro výběr těchto území byla kromě dokladů o hutnické aktivitě také skutečnost, že díky pracím VENCLOVÉ a kolektivu (2001 a 2008a) se jedná o oblasti již vymezené a historicky detailně charakterizované (z pohledu archeologického zkoumání místní výroby a sídel). Vzhledem k očekávanému rozsahu výzkumu však byla pro účely této bakalářské práce zvolena pouze oblast povodí Loděnice (v práci dále označována jako region Loděnice). Výstupy získané touto prací pak mimo jiné poslouží jako podklady pro realizaci návazného výzkumu v obou hutnických regionech i při dalších výzkumech historické kontaminace.

2. Cíle práce

Tato práce by neměla být ojedinělým výzkumem, ale měla by být zařazena do širšího kontextu výzkumu časového a prostorového aspektu kontaminace přírodního prostředí dané minulou lidskou činností – těžbou a hutněním.

Konkrétním objektem práce je výzkum v oblasti povodí Loděnice (region Loděnice), kde se v době laténské a římské nacházely významné okrsky produkce železa. Tamní produkce byla doposud zkoumána pouze archeologicky (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

Cíle práce jsou proto následující:

- i. Stručně charakterizovat obě dotčená období (doba laténská a římská), charakter tehdejší výroby a zpracování železa.
- ii. Charakterizovat hlavní proudy a témata ve výzkumu kontaminace přírodního prostředí a zhodnotit zda a jakým způsobem je kontaminace samotná využívána v dalších oborech jako archeologie, geologie, geomorfologie, paleoekologie apod.
- iii. Charakterizovat zkoumanou oblast - základní přírodní charakteristiky, popis lidských aktivit ve zkoumaných obdobích, popis a zhodnocení dosavadních informací o zdrojích rud v daných oblastech.
- iv. V rámci výzkumu zhodnotit zkoumanou oblast, vytipovat v terénu místa vhodná k výzkumu (1 – s výskytem říčních sedimentů, 2 – bez možnosti kontaminace – přirozené pozadí, 3 – v prostoru hutních aktivit doby laténské a římské) odebrat a analyzovat vzorky sedimentů, provést základní statistické zpracování výsledků.
- v. Zhodnotit výsledky samotných analýz (hodnoty jednotlivých kontaminantů, případné rozdíly mezi zkoumanými lokalitami i oblastmi), charakterizovat jednotlivé oblasti z hlediska zkoumané problematiky a zhodnotit výzkum jako celek, tedy výpovědní možnosti zkoumaných oblastí, nástin dalšího směru bádání, popis případných problematických částí dalšího výzkumu (metodických, praktických a podobně).

3. Literární rešerše

3.1 Datace a základní charakteristika doby laténské a římské

Členění pravěkých dějin na dílčí úseky (periodizace) vychází z podstaty dostupných archeologických pramenů. Základy dnešního evropského členění pravěku položil dánský archeolog Ch. J. Thomsen, který počátkem 19. století zavedl třídobou periodizaci. Tento model rozděluje pravěk do tří období (doba kamenná, doba bronzová, doba železná) pojmenovaných podle tehdy převládajících materiálů, z nichž si lidé vyráběli nástroje. Další, podrobnější třídění pravěkých dějin je výsledkem dlouhého bádání a vývoje metod pro zjišťování stáří archeologických památek (chronologie). Současný model pro poměry ve střední Evropě uvádí následující období: paleolit (3 000 000 – 8 000 př. Kr.), mezolit (8 000 – 6 000 př. Kr.), neolit (6 000 – 4 000 př. Kr.), eneolit (4 000 – 2 000 př. Kr.), doba bronzová (2 000 – 750 př. Kr.), doba halštatská (750 – 400 př. Kr.), doba laténská (400 př. Kr. – 0 po Kr.), doba římská (0 – 400 po Kr.), stěhování národů (400 – 568 po Kr.) a raný středověk (568 – 1200 po Kr.). Na uvedené datace jednotlivých období mají různí autoři různé pohledy a v některých údajích se neshodují (PODBORSKÝ 2006; NÁRODNÍ MUZEUM 2012 – 2013a).

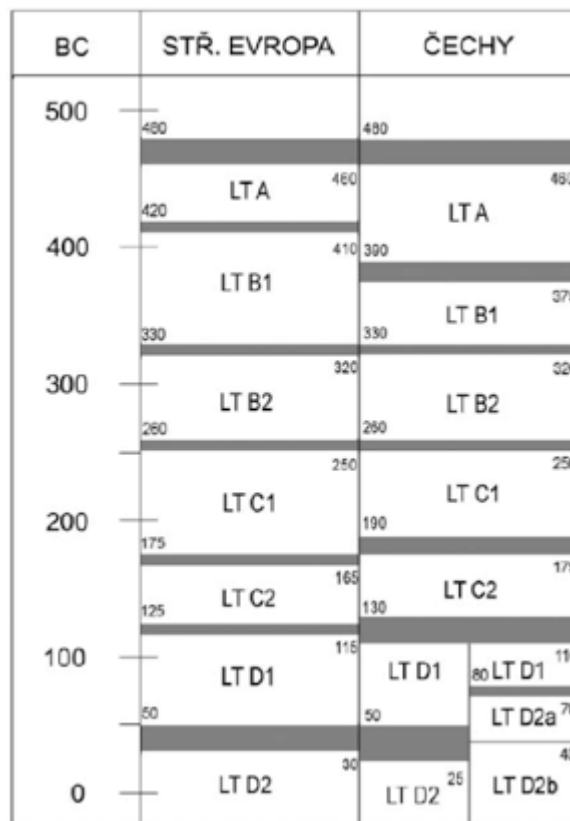
Jemnější periodizace spolu se základní charakteristikou je dále rozebrána pouze pro zájmová období této práce, a to dobu laténskou a římskou.

3.1.1 Doba laténská (označovaná také jako mladší doba železná)

Pro třídění doby laténské byla v minulosti vypracována řada systémů, založených na absolutní či relativní chronologii archeologických nálezů (jednotlivé metody stanovení chronologie zde rozebírány nejsou, ve své publikaci je shrnuje například PODBORSKÝ (2006)). Jelikož absolutní data získaná pro laténskou dobu jsou zatížena velkou chybou (zejména z důvodu nepřesnosti radiokarbonové metody chronologie pro kalibrační křivku mezi lety 800 – 200 př. Kr.), vychází se spíše ze systémů relativní chronologie. Ty se opírají hlavně o soubory předmětů (zejména kovových) jednorázově uložených do hrobů. Z těchto systémů je nejčastěji používané třídění doby laténské podle P. Reineckého z r. 1902. Rozlišuje stupně LT A, LT B, LT C a LT D, které jsou dále ještě rozděleny. První fáze doby laténské LT A kulturně úzce souvisí s kulturou pozdně halštatskou a bývá proto řazena spíše

do halštatského období. Jako období ryze latéské kultury je pak označována pouze fáze LT B až D (VENCLOVÁ a kolektiv 2008b; SALAČ a kolektiv 2008).

Datace jednotlivých fází ve střední Evropě a Čechách je uvedena na **obrázku č. 1**.



Obrázek č. 1: Absolutní datování jednotlivých fází doby latéské v Čechách a ve střední Evropě (VENCLOVÁ a kolektiv 2008b).

Latéská kultura se z Evropy postupně rozšířila téměř na celé území Čech. Výjimkou jsou pouze severní Čechy, pro které je specifická kulturní skupina podmokelská a kobylská. Ve spojení s naším územím i střední Evropou bývá někdy latéská kultura označována jako kultura Keltů. Ačkoliv osídlení keltskými kmeny (například kmenem Bójů) je historicky doloženo, mezi badateli nepanuje jasná shoda, zda může být latéská kultura s tímto etnikem jasně spojována. Termín „keltský“ by proto měl být chápán pouze jako etnické označení a historický pojem a neměl by být používán jako pojem archeologický.

Doba latéská je považována za vrcholné období pravěké ekonomiky. Hlavním zdrojem obživy tehdejší společnosti je na našem území stále zemědělství a chov dobytka, jako tomu bylo v období předchozím, ovšem dochází také

k výraznému vývoji specializované výroby a obchodu. Škála surovin využívaných pro výrobu byla v době laténské poměrně široká, což odpovídalo vývoji výrobních technologií a vzniku nových výrobních odvětví. Dostupnost nerostných surovin bývá také považována za jednu z hlavních příčin tehdejší kolonizace některých regionů. K hlavním odvětvím specializované výroby patřilo hutnictví železa (podrobněji se mu věnuje následující kapitola), kovářství, bronzová metalurgie, získávání a zpracování švartny, kamenická výroba, zpracování skla, získávání a zpracování zlata a stříbra, zpracování jantaru a specializovaná výroba keramiky. Prohloubení dálkového obchodu se Středomořím pak dokládají nálezy prvních mincí na našem území i písemné zmínky antických autorů.

Z obytných areálů převládají v prvních fázích doby laténské (LT B1 – C1) zemědělské osady. Jedná se o nehrazené rovinné areály, kde se nacházely sídelní i výrobní objekty. Postupně vznikají také hrazené rovinné areály (dvorce). V průběhu období LT C1 se některé areály rozšiřují (vznikají zde výrobní či distribuční centra), vznikají nehrazené výšinné areály a zejména hrazené výšinné areály (menší *castella* a rozsáhlá silně opevněná *oppida*). Ačkoliv se funkce jednotlivých oppid lišila, některé z těchto areálů bývají označovány jako nejstarší města na našem území (VENCLOVÁ a kolektiv 2008b; NÁRODNÍ MUZEUM 2012 – 2013b).

3.1.2 Doba římská

Za základní a dodnes používaný systém pro třídění doby římské je považován model H. J. Eggerse z roku 1955. Tento model byl vytvořen tradiční archeologicko-historickou metodou. Jejím principem je prvotní vytvoření relativní chronologie (pomocí analýzy nálezových celků, například hrobových) a následně absolutní datování vytvořeného schématu (pomocí importů, předmětů pocházejících z oblastí, kde je lze na základě písemných pramenů datovat). Eggersův model navazuje na třídění předcházející doby laténské podle P. Reineckého a rozděluje dobu římskou na následující stupně: Ř A (časná doba římská), Ř B (starší doba římská) a Ř C (mladší doba římská). Stupeň Ř A se dle Eggerse překrývá se stupněm doby laténské LT D2, přičemž datování počátku Ř A autor neuvádí. Ostatní stupně svou datací pokrývají první 4 staletí našeho letopočtu a jsou dále jemněji tříděny: Ř B1 (0 - 50), Ř B2 (50 - 150), Ř C1 (150 - 200), Ř C2 (200 - 300) a Ř C3 (300 – 350/375) (SALAČ a kolektiv 2008).

Pojmenování doba římská se odvozuje od kulturního vlivu Římské říše, jejíž trvání se s obdobím chronologicky překrývá. Ačkoliv tento vliv se jednoznačně projevil pouze v oblastech, které byly trvalou součástí Římské říše (jižní části střední Evropy), označení doba římská se užívá i pro území mimo její hranice, takzvané barbarikum. Do něj spadá i oblast Čech, kde byl kulturní vliv Římské říše minimální a toto období je zde charakterizováno příchodem a působením germánských kmenů (hl. Markomanů a Kvádů). Pojem doba římská je u nás tak nutno chápat pouze jako tradiční archeologické označení, které příliš nekoresponduje se skutečným historickým vývojem.

V porovnání s předcházející dobou latéskou dochází v době římské k postupnému úpadku kultury a řemesel, což souvisí s nižší kulturní úrovní germánských kmenů oproti Keltům. Z výrobních činností byla nejvýznamnější výroba potravinářských produktů a výroba keramiky. Rozšířená byla také výroba železa (viz další kapitola) a předpokládá se i rozvoj získávání a zpracování mědi a cínu (s následnou výrobou a zpracováním bronzu). Ačkoliv v době římské došlo k zániku mincování, nálezy tzv. římských importů dokládají poměrně četné obchodní kontakty s Římskou říší – importováno bylo zejména luxusní zboží, jako šperky či sklo.

V době římské dochází k zániku systému oppid, sídliště starší doby římské jsou zastoupeny výhradně neopevněnými osadami, situovanými v nížinách, většinou v těsné blízkosti vodních toků. Zřejmá je tak snaha o získání co nejkvalitnějšího zemědělského zázemí. V mladší době římské se objevuje typ méně rozsáhlých dvorcových sídlišť a na sklonku tohoto období se pro sídlení začínají opět využívat i výšinné polohy (SALAČ a kolektiv 2008; NÁRODNÍ MUZEUM 2012 – 2013b).

3.2 Hutnická výroba železa v době latéské a římské

Z technologického hlediska zahrnuje hutnická výroba železa tři základní druhy výroby:

- získávání surovin (těžba)
- hutnění, tedy výroba materiálu ze surovin (vytavení železa – železná houba)
- úprava vytaveného železa do konečného produktu hutnické výroby, který lze přepravovat a směňovat (lupa či ingot vznikající rafinací železná houba)

Na výrobu konečného produktu pak navazovalo kovářské zpracování lupy či ingotu do podoby finálních železných předmětů.

Základními surovinami pro výrobu železa jsou železná ruda, dřevo (hlavně jako palivo k vyhřátí hutnické pece a pro výrobu dřevěného uhlí), hlína (pro výstavbu pece a dalších výrobních zařízení) a voda (k mísení hlíny a praní železné rudy). Dostupnost těchto surovin, především vhodný zdroj železné rudy, byla klíčová pro umístění sídelních a výrobních areálů. Osídlené polohy tak byly v době laténské a navazující době římské často totožné a u jednotlivých výrobních zařízení či objektů bývá problematické (až nemožné) určit, ve kterém z daných období byly provozovány (VENCLOVÁ a kolektiv 2008b; SALAČ a kolektiv 2008).

3.2.1 Zdroje železných rud využívané minulými populacemi

Železné rudy jsou horniny s minerály obsahující železo (Fe) v těžitelné formě. Vhodný minerál by měl obsahovat dostatečné množství kovu a být současně i dostatečně rozšířený, aby bylo jeho využití efektivní. Železné rudy lze podle jejich chemického složení rozdělit do několika mineralogických typů: (i) sloučeniny železa a kyslíku – například hematit Fe_2O_3 (krevel, max. obsah Fe 70 %), magnetit Fe_3O_4 (magnetovec, max. obsah Fe 72 %), limonit $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (hnědel, max. obsah Fe 50 - 69 %), (ii) uhličitanové sloučeniny železa – siderit FeCO_3 (ocelek, max. obsah Fe 48 %), (iii) křemičitanové sloučeniny železa – chamosit $(\text{Fe},\text{Mg})_5\text{Al}[(\text{OH})_8|\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ (různé chemické složení, max. obsah Fe 38 %) a (iv) sloučeniny železa a síry (sulfidy železa) – například pyrit FeS_2 (markazit, max. obsah Fe 46 %). Kromě uvedených minerálů se v železných rudách vždy vyskytují i další příměsi či nečistoty (zejména oxidy manganu a hliníku, fosfáty) (KOŘAN 1978; PLEINER a kolektiv 1984; VANĚČEK 1995; PLEINER 2006; JIRÁSEK a VAVRO 2008).

Za celkově snad nejdůležitější zdroj železa využívaný našimi předky je považován limonit. Tato směs několika minerálů vzniká rozkladem sulfidů a uhličitanů železa (pyrit, siderit) vlivem povrchového zvětrávání, neboli působením vzdušného kyslíku a vody v přípovrchových částech rudních ložisek či v sedimentech. Výsledkem je vysrážení železa (ve formě limonitu) a vznik takzvaných železných klobouků, představujících z hlediska historické těžby snadno dostupnou rudu. Limonit se může vyskytovat také ve formě takzvané bahenní

(bažinové) rudy, vznikající mikrobiální redukcí železa v prostředí bažin či rašelinišť (tedy vysrážení železa z vodného roztoku) do podoby hrud neboli kongrecí. Za další historicky významnou železnou rudu je považován siderit, vyskytující se v rámci sedimentárních komplexů v podobě pecek (kongrecí), označovaných jako pelosiderit. (PLEINER a kolektiv 1984; VANĚČEK 1995; PLEINER 2006).

Kromě limonitu a pelosideritu však mohly být pro účely hutnění využívány i rudy s obsahem ostatních minerálů – potenciální zdroje železa se samozřejmě různí podle jejich dostupnosti na konkrétním území předpokládané historické těžby a hutnění. VENCLOVÁ a kolektiv (2008b) uvádí jako možný zdroj železa v Čechách v laténském období všechny výše zmíněné mineralogické typy železných rud. Místně také zmiňuje cenomanský železitý pískovec, neboli železivec (pískovec proželezněný limonitickým tmelem - dle VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

3.2.2 Těžba a hutnění železných rud

Jelikož se pro výrobu železa využívalo hornin vyskytujících se na povrchu, nebo těsně pod ním, nebyla těžba železné rudy příliš náročná. Dobývala se formou povrchové těžby, tedy buď sběrem na povrchu, nebo pomocí nepříliš hlubokých jam. Těžební šachty v Čechách doloženy nejsou (VENCLOVÁ a kolektiv 2008b).

Surovina musela být po získání nejprve před upravena (třídění a drcení rudy, případně propírání vodou a pražení v pražicích jámách). Vlastní hutnění pak probíhalo takzvanou přímou metodou, při níž je železo z rudy vyredukováno pomocí oxidu uhelnatého (CO₂), získaného z dřevěného uhlí. Výrobní proces probíhal v pecích (výhňová pec, pec se zahluobenou nístějí) za vysoké teploty kolem 1400 °C, které bylo dosahováno za pomoci intenzivního dmýchání. Výsledkem hutnického procesu byl jednak samotný produkt (železná houba), jednak výrobní odpad (struska) charakteristický stále vysokým obsahem železa. Jelikož takto získaná železná houba stále obsahovala značný podíl strusky, bývala dále zpracovávána rafinací ve vyhřáté výhni do podoby lupy. Přitom docházelo ke ztrátě kolem 50 % objemu houby. Lupa již mohla být používána jako obchodovatelná forma, nebo byla nakonec ještě upravena do podoby ingotu. Hutnická struska, vznikající v poměrně velkém množství (100 kg strusky na 18-30 kg vytaveného železa), často slouží jako indikátor hutnických areálů (VENCLOVÁ a kolektiv 2001; VENCLOVÁ a kolektiv 2008b; SALAČ a kolektiv 2008).

3.3 Kontaminace přírodního prostředí

Pod pojmem kontaminace přírodního (životního) prostředí je chápána přítomnost cizorodých látek (kontaminantů), které se do prostředí dostávají v důsledku přírodních jevů nebo lidských aktivit (takzvané antropogenní zdroje kontaminantů). Kontaminace přitom nevzniká jen dnešními aktivitami, ale i těmi v minulosti. Působení kontaminantů na životní prostředí může být zcela bez účinků, někdy dokonce i pozitivní. V převážné míře je však působení kontaminantů nepříznivé – takové látky jsou pak označovány jako znečišťující (BARTUSEK 2008). Kontaminace se dotýká všech složek životního prostředí, tedy ovzduší, vody, horninového a půdního prostředí i organismů. Pro účely této práce je hlavní pozornost dále zaměřena především na problematiku a možnosti studia kontaminace půdy.

Zejména v poslední době vystupuje v souvislosti se silícím civilizačním tlakem stále více do popředí otázka půdních škodlivin. Škodliviny v půdě mohou být buď přírodního, nebo antropogenního původu a do půdy se dostávají buď zvenčí, nebo zde přímo vznikají. Mohou být také běžnou součástí půdy a negativní účinek se projeví až po překročení jejich určitého obsahu. Znečištění půdy má největší vliv především na nepostradatelné půdní mikroorganismy (hlavní nositele půdní úrodnosti), ohroženy mohou být i celé potravní řetězce. Hlavními zdroji kontaminace půdy jsou spady z průmyslových exhalací, zemědělská činnost, úniky pevných nebo kapalných toxických látek, ropné látky, vodní a větrná eroze. Vlastními kontaminanty pak mohou být různé organické látky (například aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky, pesticidy), radioaktivní látky (Ra, Cs, U), patogenní mikroorganismy (zejména bakterie, plísňe a prvoci), různé nekovové anorganické látky (například Br, F, sulfidická síra) a především pak kovy (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn, V, Zn) (TOMÁŠEK 2007). Problematice toxických kovů v životním prostředí je dále věnována hlubší pozornost.

Kovy se v životním prostředí hromadí buď v půdě, nebo v sedimentech vodních ploch a toků. Hlavním mechanismem vstupu kovů do půdy je atmosférická depozice - kovy se přitom v životním prostředí mohou šířit i na velké vzdálenosti, a to buď ve formě plyných, nebo pevných částic (v závislosti na fyzikálně-chemických vlastnostech konkrétních kovů). V rámci vodních systémů pak může docházet ke kontaminaci například vlivem splavení kovů z okolního prostředí,

prostřednictvím kontaminovaných odpadních vod nebo vyluhováním z horninového podloží (SPARKS 2005). Mobilita kontaminantů je ve vodním prostředí mnohem vyšší než půdě, což umožňuje poměrně rychlé šíření kontaminantů po okolí. Vlivem gravitace nebo vysrážení částic kontaminantů dochází po určité době k jejich sedimentaci na dno vodních ploch a toků a tak k postupnému hromadění (kontaminanty zároveň mohou být z těchto sedimentů opětovně vyluhovány a šířeny prostředím) (PITTER 1990; HAAG a kolektiv 2001; WITTLINGEROVÁ a JONÁŠ 2002). Právě v ukládání a hromadění kovů spočívá jejich nebezpečí (jsou perzistentní, v přírodě přetrvávají) – nahromadění kovů v půdním nebo vodním prostředí může mít závažné důsledky, od znehodnocení zemědělských ploch až k otravám zvířat i lidí (ať již konzumací kontaminované vody, potravin, inhalací kontaminovaného vzduchu, prachu, či absorpcí přes kůži ze vzduchu, vody, půdy) (ADRIANO a kolektiv 2005). Zdrojem kovů v životním prostředí může být, stejně jako v případě řady ostatních kontaminantů, přírodní i lidská aktivita. Z antropogenních zdrojů má majoritní vliv na kontaminaci prostředí především těžba a zpracování nerostných surovin – zatížení prostředí těžkými kovy je dokumentováno pro řadu hornických a hutnických oblastí. V České republice se jedná například o oblast Příbramska (kontaminace prostředí zejména arsenem, olovem a kadmiiem v důsledku těžby a hutnictví stříbra a olova, kromě toho také kontaminace radioaktivními prvky uranem a radonem v důsledku těžby uranové rudy) (VANĚČKOVÁ 2007; VANĚK a kolektiv 2008), Jáchymovska (především kontaminace arsenem v důsledku těžby a hutnictví stříbra a těžby uranové rudy) (HOLUB 1997), Kutnohorská (kontaminace prostředí arsenem, olovem, kadmiiem, mědí a zinkem jako důsledek těžby a zpracování polymetalických rud) (KOŘAN 1950; VESELÝ a GÜRTLEROVÁ 1996; KRAHULCOVÁ 2002; ASH a kolektiv 2014) a řady dalších. Problematika znečištění životního prostředí vlivem metalurgické činnosti se ovšem nedotýká pouze současných či relativně nedávných hutnických lokalit, ale také těch historických. V této souvislosti je třeba si uvědomit, že k uvolňování kovů do životního prostředí a jejich akumulaci docházelo již od počátků industriální éry člověka (pro představu zlato bylo poprvé objeveno již okolo let 6 000 př. Kr.) (SPARKS 2005) a díky perzistenci kovů v prostředí se tak někde může dodnes projevat dopad negativních důsledků historického hornictví a hutnictví. Dokladem jsou především historicky kontaminované sedimenty, stále přítomné v prostředí, u kterých může docházet k opětovnému uvolňování a šíření

škodlivých látek do prostředí (tyto sedimenty se tedy projevují jako druhotné zdroje kontaminace). Dopad historické kontaminace se projevil například v okolí středověkých hutnišť v Jižním Schwarzwaldu nebo v Horním Harzu v Německu, kde je dodnes identifikovatelné znečištění půdy a spodní vody těžkými kovy (Pb, Cu, Zn, Cd) (MATSCHULLAT a kolektiv 1997; GÄBLER a SCHNEIDER 2000; NOVÁČEK 2001).

3.3.1 Hlavní obory studia kontaminantů v prostředí

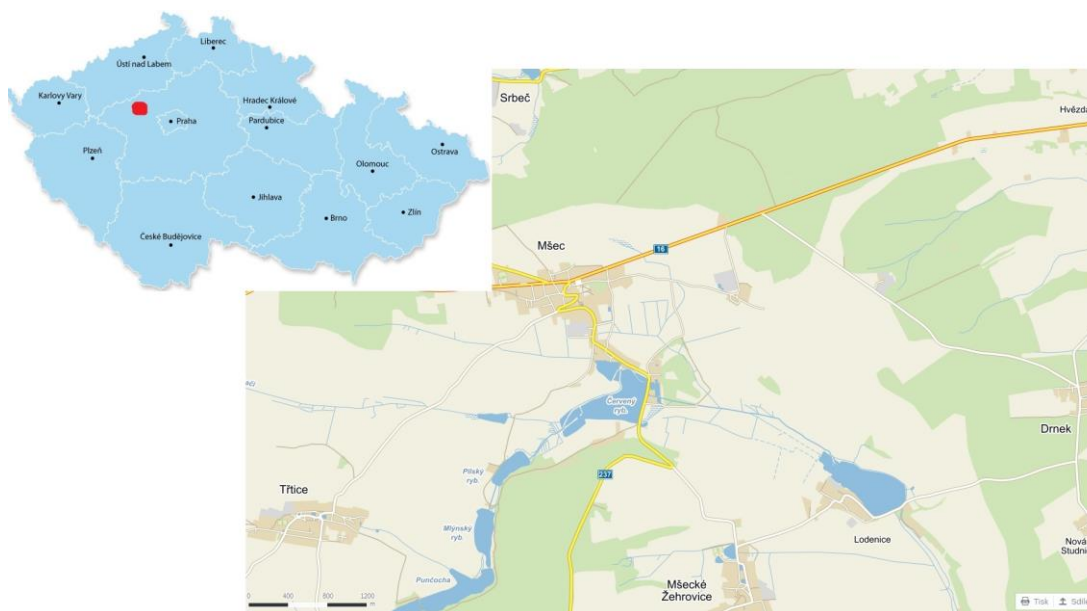
Na problematiku kontaminantů životního prostředí lze nahlížet mnoha způsoby, což se projevuje i různými přístupy k jejímu studiu. Tyto přístupy je v zásadě možné rozdělit do dvou typů, kdy cílem výzkumu je buď kontaminace jako taková, nebo její využití jako prostředku pro zkoumání jiných jevů nebo skutečností. Konkrétně se jedná o následující hlavní obory studia: (i) studium chemie a geochemie jednotlivých kontaminantů – tedy zkoumání jejich vlastností, chování v prostředí, vazby v sedimentech, či toxicity (ETTLER a kolektiv 2006; HILSCEROVÁ a kolektiv 2007; BÁBEK a kolektiv 2011; BEDNÁŘOVÁ a kolektiv 2013), (ii) studium šíření kontaminace a jejích prostorových aspektů - například hodnocení vlivu utváření krajiny a přírodních živlů na šíření kontaminantů, často sledován transport kontaminantů v sedimentech vodních toků a zjišťován rozsah sekundární kontaminace vlivem splavování, a další (MILLER 1997; KNOX 2006; MIHALJEVIČ a kolektiv 2006; DENNIS a kolektiv 2009; DELGADO a kolektiv 2010), (iii) studium kontaminace organismů a remediace kontaminovaného prostředí - sledování množství a formy půdních kontaminantů vstřebávaných do rostlin a možnosti stabilizace kontaminantů, většinou těžkých kovů, pro snížení jejich mobility a negativních dopadů na prostředí (ZÝKA 1974; ZÝKA 1977; VONDRÁČKOVÁ a kolektiv 2013; HEJCMAN a kolektiv 2014; MÜLLEROVÁ a kolektiv 2014; VÍTKOVÁ a kolektiv 2015), (iv) studium a identifikace zdrojů kontaminace – zjišťování především různých antropogenních zdrojů kontaminace prostředí (FACCHINELLI a kolektiv 2001; LEE a kolektiv 2006; LUO a kolektiv 2010; SOLLITO a kolektiv 2010; BING a kolektiv 2011; GU a kolektiv 2012; LIU a kolektiv 2012) a (v) studium kontaminantů jako sedimentárních markerů – jde o zkoumání kontaminantů v říčních a jezerních sedimentech, či v rašeliništích, a to buď za účelem indikace lidských aktivit (MIHALJEVIČ a kolektiv 2006; GRATTAN a kolektiv 2007; BINDLER a kolektiv

2011; BING a kolektiv 2011) nebo pro účely studia sedimentární historie či vývoje krajiny (BÁBEK a kolektiv 2011; DAVIS a kolektiv 2009; DENNIS a kolektiv 2009; HÜRKAMP a kolektiv 2009; HORÁK a HEJCMAN 2013).

4. Charakteristika studijního území

Pro účely této práce bylo poměrně rozsáhlé území regionu Loděnice (253,15 km² dle vymezení oblasti VENCLOVOU a kolektiv 2001) zúženo na menší oblast, zahrnující několik dokumentovaných lokalit s historickou výrobou železa. Tato vybraná oblast je dále označována jako studijní nebo studované území.

Studované území (**obrázek č. 2**) se nachází ve Středočeském kraji západně od Prahy, v okrese Rakovník. Nejseverněji je vymezeno obcí Srbeč, východně obcí Nová Studnice, nejjižněji obcí Mšecké Žehrovice a nejzápadněji obcí Třtice. Uvnitř území se nachází obec Mšec.



Obrázek č. 2: Studované území na mapě České Republiky (MAPY.CZ).

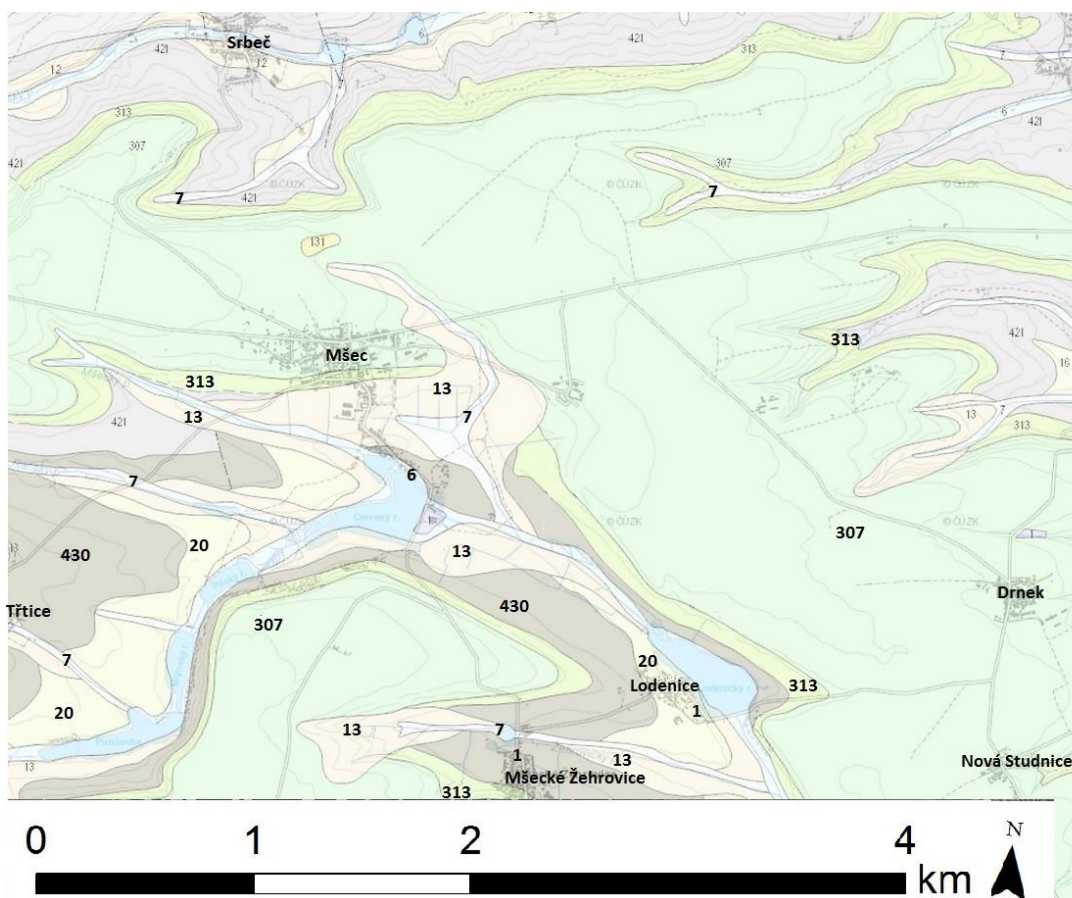
4.1 Přírodní podmínky studijního území

4.1.1 Geologie

Geologické podloží zkoumaného území je tvořeno paleozoickými (karbon) pestrobarevnými pískovci, arkózovými pískovci, valounovými pískovci a slepenci, jílovci, prachovci (viz č. 430 na **obrázku č. 3**), které k povrchu vystupují spíše v nižších polohách svahů. Na ně nasedají mezozoické (křída) jílovce, prachovce, pískovce křemenné, jílovité, glaukonitické, slepence (viz č. 313 na **obrázku č. 3**), které k povrchu vystupují především ve středních částech svahů. Nejvyšší polohy

jsou tvořeny rovněž mezozoickými (křída) písčitymi slínovci až jílovci, které jsou převážně spongilitické, místy scilifikované (viz č. 307 na **obrázku č. 3**).

Kvartérní pokryvné horniny jsou zde zastoupeny především kamenitými až hlinito-kamenitými sedimenty (viz č. 13 na **obrázku č. 3**), především při úpatích svahů a v údolích, kde při vodních tocích přecházejí ve smíšené (viz č. 7 na **obrázku č. 3**) a nivní (viz č. 6 na **obrázku č. 3**) sedimenty. V oblasti intravilánů obcí se vyskytují rovněž antropogenní sedimenty (navážky, haldy, výsypky a podobně – viz č. 1 na **obrázku č. 3**) (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA).



Obrázek č. 3: Geologické podloží studovaného území (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA).

4.1.2 Geomorfologie

Území leží v Řevničovské pahorkatině, která s rozlohou 199 km² tvoří východní část vrchoviny Džbán. Řevničovská pahorkatina je mírně zvlněná s tabulovými plošinami na svrchnokřídových sedimentech a s erozně přemodelovanou exhumovanou předkřídovou parovinou na karbonových vrstvách.

Nejvyšším bodem je Louštín (535 m) a nejnižším Bakovský potok (280 m) (BÍNA a DEMEK 2012).

Místní geomorfologické členění je dle BÍNY a DEMKA (2012) následující:

Poberounská soustava

==> Brdská podsoustava

==> celek Džbán

==> podcelek Řevničovská pahorkatina

==> okrsky Srbečská a Novostražecká pahorkatina

4.1.3 Klima

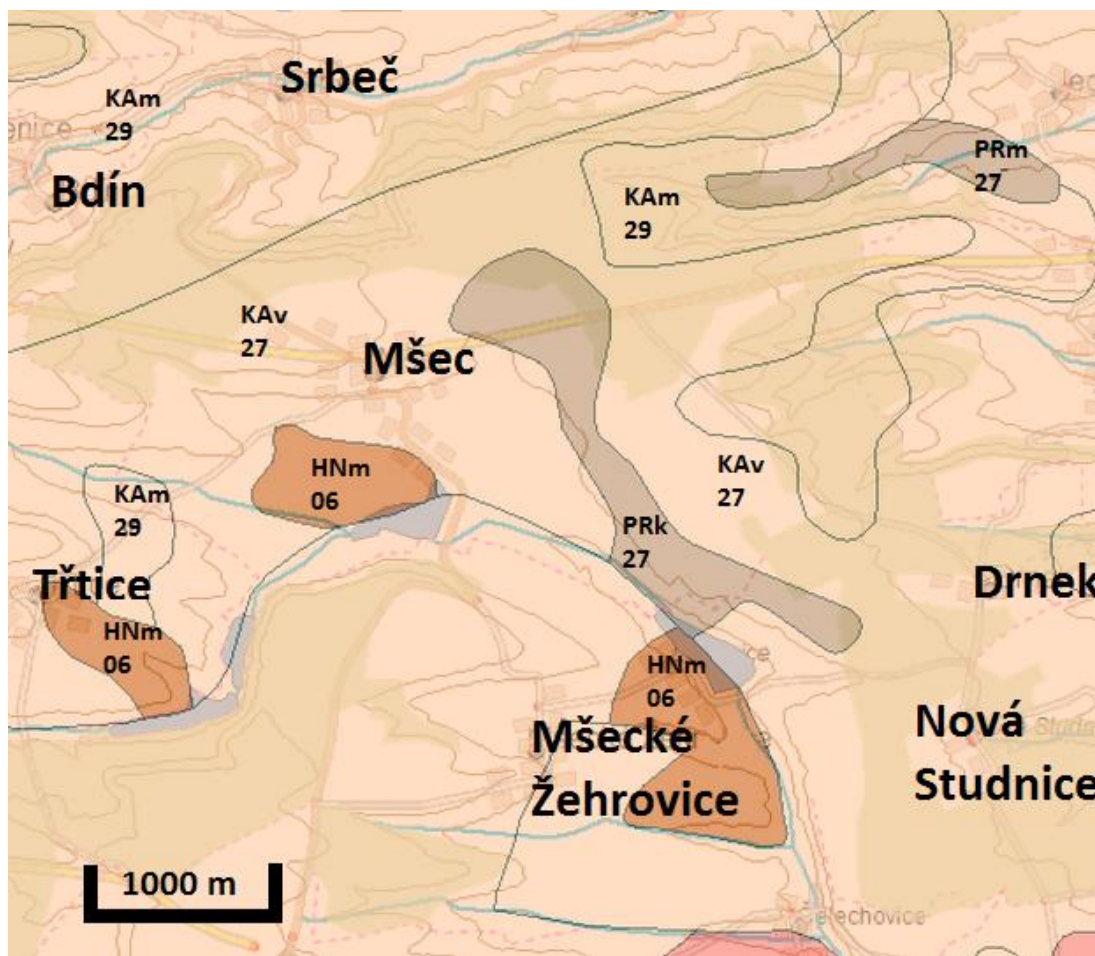
Klimatický region je mírně teplý, mírně suchý a s mírnou zimou. Dle Quittovy klasifikace se jedná o mírně teplou oblast. Průměrná roční teplota je 7 – 8 °C, průměrná roční maxima teplot 32 – 33°C, průměr ročních minimálních teplot vzduchu pak -18 až -17°C. Průměrný roční úhrn srážek je 550 – 600 mm, průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou je 50 – 60 dnů (TOLASZ a kolektiv 2007).

4.1.4 Hydrologie

Dominantou studijního území je potok Loděnice (místně nazývaný Kačák), který pramení ve vrchovině Džbán v nadmořské výšce 497 m, přibližně 1 km jihozápadně od obce Kroučová, a ústí do řeky Berounky. Největší vodní plochy v oblasti jsou rybníky Lodenice, Červený a Punčocha (MAPY.CZ; NÁRODNÍ REGISTR PRAMENŮ A STUDÁNEK).

4.1.5 Půdy

Hlavním půdním typem v oblasti je kambizem (subtypy modální – viz KAv 29 na **obrázku č. 4** a vyluhovaná – viz KAv 27 na **obrázku č. 4**). Dále se vyskytuje hnědozem modální (viz HNm 06 na **obrázku č. 4**), pararendzina kambická (viz PRk 27 na **obrázku č. 4**) a pararendzina modální (viz PRm 27 na **obrázku č. 4**). Při vodních tocích nacházíme fluvizemě. V okolí oblasti, případně ojediněle uvnitř se mohou vyskytnout i černozem, luvizem apod. V údolních polohách je časté oglejení (NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE a).



Obrázek č. 4: Půdní typy studovaného území (NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE a).

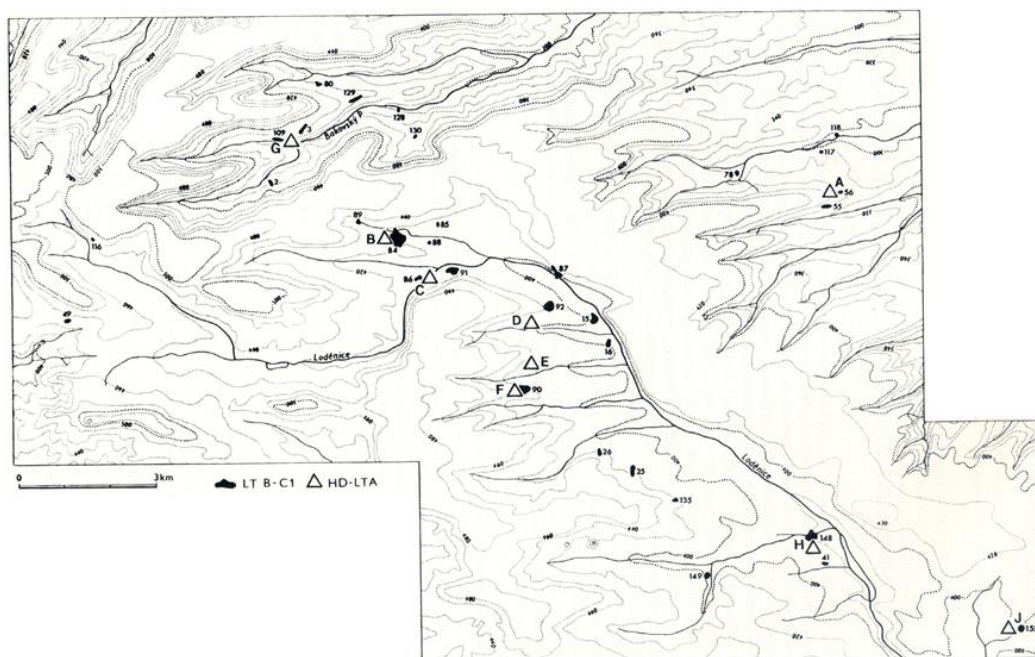
4.1.6 Vegetace

Podle fytogeografického členění České republiky se celé studované území nachází na jižním okraji oblasti Českého Termofytika (okrsek Džbán), v sousedství Českomoravského Mezofytika (okrsky Rakovnická kotlina a Křivoklátsko), je tedy osídlováno převážně teplomilnými druhy rostlin (NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE b). Dle geobotanické mapy se v oblasti vyskytují luhy a olšiny, acidofilní a subxerofilní doubravy a dubo-habrové háje (MIKYŠKA 1968-1972).

4.2 Region Loděnice v době laténské a římské

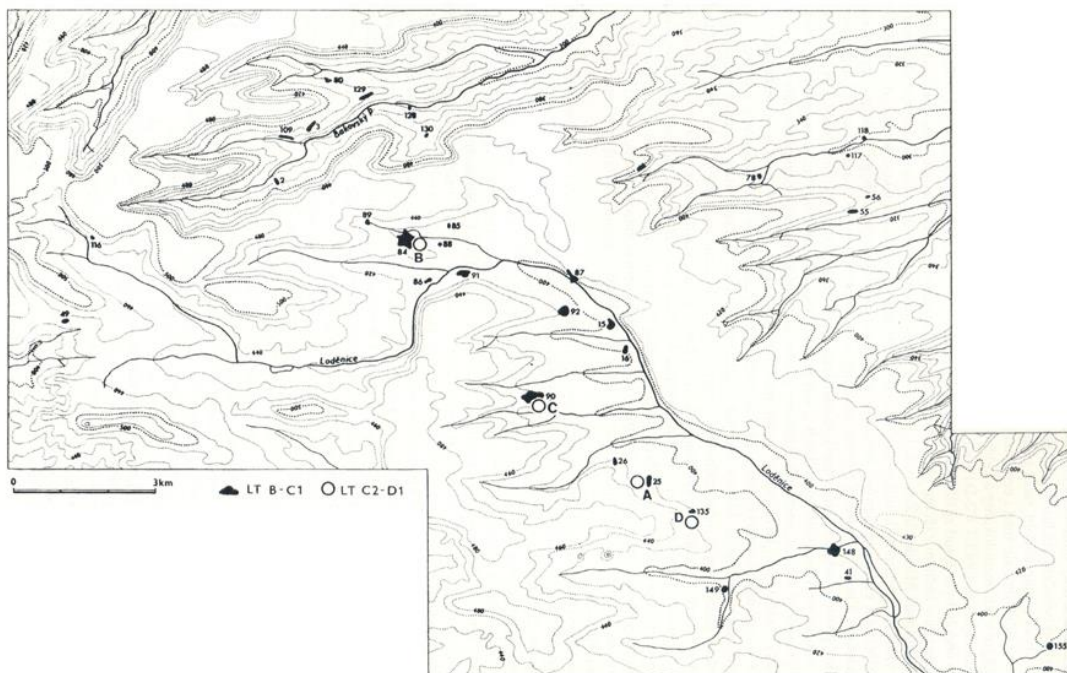
Zájmový region Loděnice je ve studovaném období charakteristický zejména tím, že zde byly provozovány nejméně dva typy specializované výrobní činnosti, využívající místní nerostné zdroje. Jednalo se konkrétně o zpracování švartny

(sideritický jílovec, resp. sapropelit, využívaný pro zhotovování ozdob) a hutnictví železa. Vzhledem k mimořádnému rozsahu a koncentraci těchto výrobních aktivit bývá region označován jako „industriální“ nebo „průmyslová zóna“. Osídlení doby železné začíná v tomto regionu v pozdně halštatském až časně laténském období (H D-LT A), přičemž tehdejší osady měly pravděpodobně pouze zemědělský charakter. V období LT B1 byl region zřejmě využíván jen velmi slabě, vrchol osídlení a výroby se pak datuje do období LT B2-C1. V následném období LT C2-D1 bylo osídlení opět řidší, obsazena byla jen ta část regionu, která měla nejpříznivější přírodní podmínky (plošší údolí s lepšími půdami). V době římské až stěhování národů byl region znovu obsazen hustěji. Rozdíly v hustotě osídlení regionu Loděnice v jednotlivých obdobích jsou patrné z **obrázků č. 5 – 7**. Výroba železa byla v regionu provozována jak v době laténské (LT B2-C1/C2), tak i v době římské (v této době však zřejmě na menším počtu lokalit) (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).



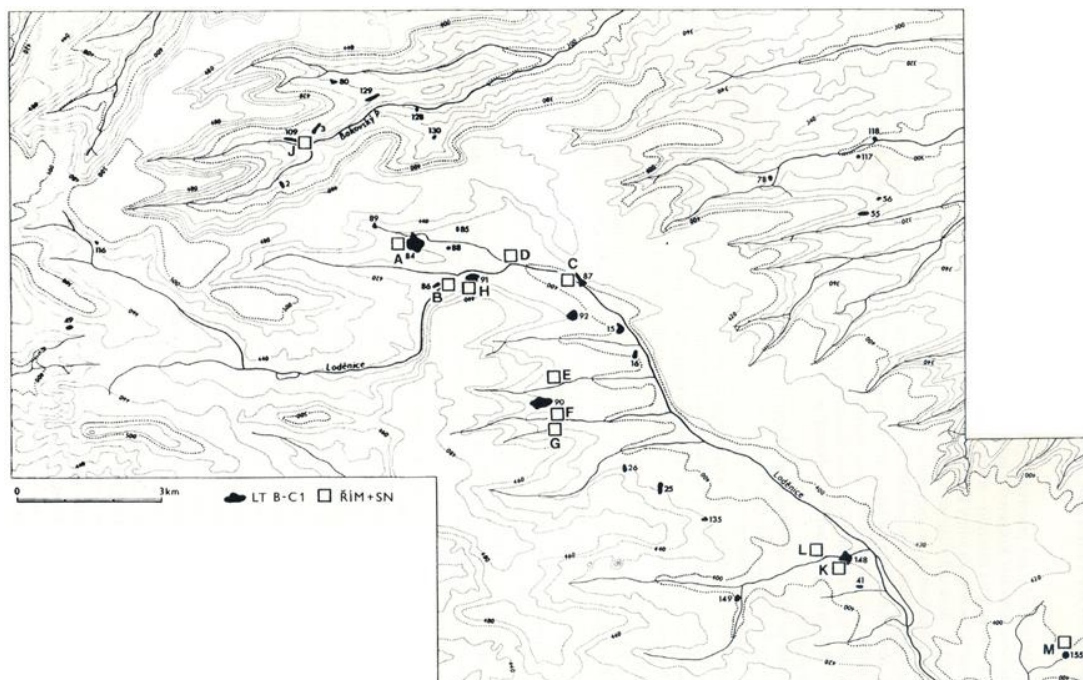
Obrázek č. 5: Osídlení regionu Loděnice v pozdně halštatském až časně laténském období (H D-LT A) (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

Legenda: značení lokalit – názvy a specifikace jednotlivých lokalit viz VENCLOVÁ a kolektiv (2001).



Obrázek č. 6: Osídlení regionu Loděnice v období LT C2-D1 (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

Legenda: značení lokalit – názvy a specifikace jednotlivých lokalit viz VENCLOVÁ a kolektiv (2001).



Obrázek č. 7: Osídlení regionu Loděnice v době římské a stěhování národů (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

Legenda: značení lokalit – názvy a specifikace jednotlivých lokalit viz VENCLOVÁ a kolektiv (2001).

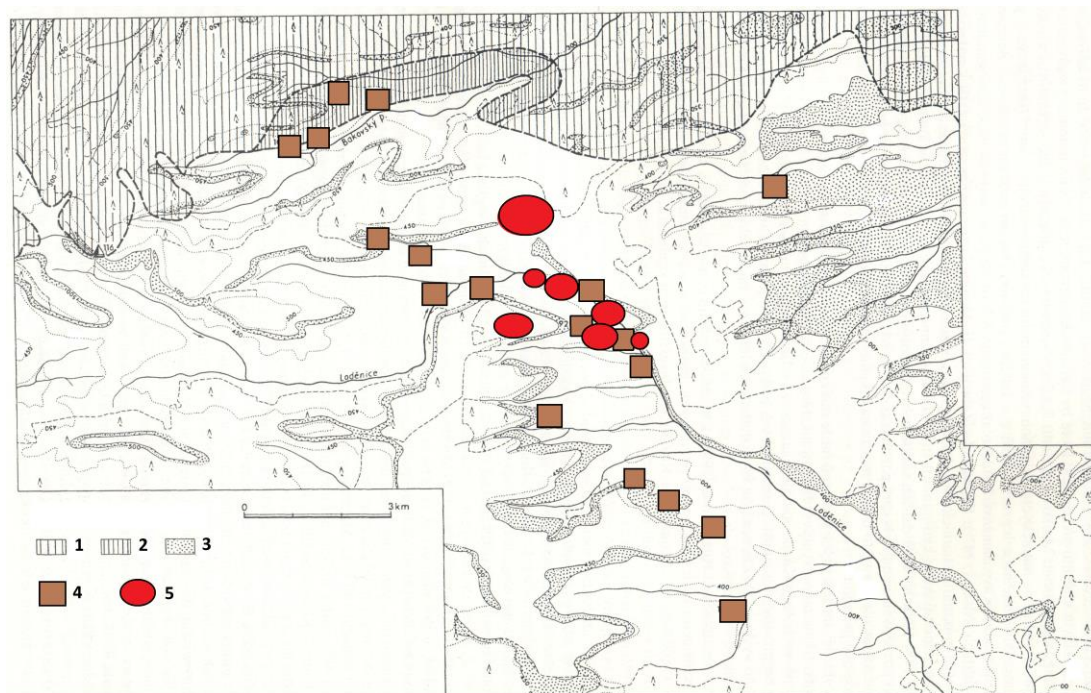
4.2.1 Zdroje rud a lokalizace těžby a hutnění v regionu Loděnice

Dle VENCLOVÉ a kolektiv (2001) byly pro výrobu železa v území horního toku Loděnice uvažovány čtyři možné typy železné rudy (na základě geologických a archeologických poznatků o regionu): čistý siderit, pelosiderit, cenomanské železité pískovce a zvětralé typy rud (limonitové konkrce). S přihlédnutím k velmi malému množství sideritu a limonitu v regionu a obecně nízkému obsahu železa v železitých pískovcích je zde za nejpravděpodobnější zdroj železa považován pelosiderit ve formě povrchových konkrací (**obrázek č. 8**). Zmíněné málo zrudněné železité pískovce mohly být využívány jako zdroj příležitostný či doplňkový, ovšem uvádí se i možnost existence lavic s bohatším obsahem železa.



Obrázek č. 8: Pelosiderit (16x16cm) (BEDÁŇ).

Vzhledem k váze a potřebnému množství železné rudy (poměr hmotnosti rudy k vytavené železné lupě se podle kvality suroviny odhaduje na 4,5 až 10 : 1) se nepředpokládá její transport na delší vzdálenosti. Hutnické dílny (a potažmo tedy i obytné areály) tak byly pravděpodobně umísťovány do blízkosti zdrojů rudy. Dalším faktorem pro umístění dílen pak mohla být i dostupnost dřeva, jakožto paliva do hutnických pecí. Na **obrázku č. 9** jsou vymezeny oblasti výroby železa v regionu Loděnice, spolu s oblastmi výchozů švartny, cenomanských pískovců a Kounovské uhelné sloje, ve které jsou rozšířeny pelosideritové konkrce. V lokalitách výroby železa byly pelosiderity pravděpodobně zcela vytěženy (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).



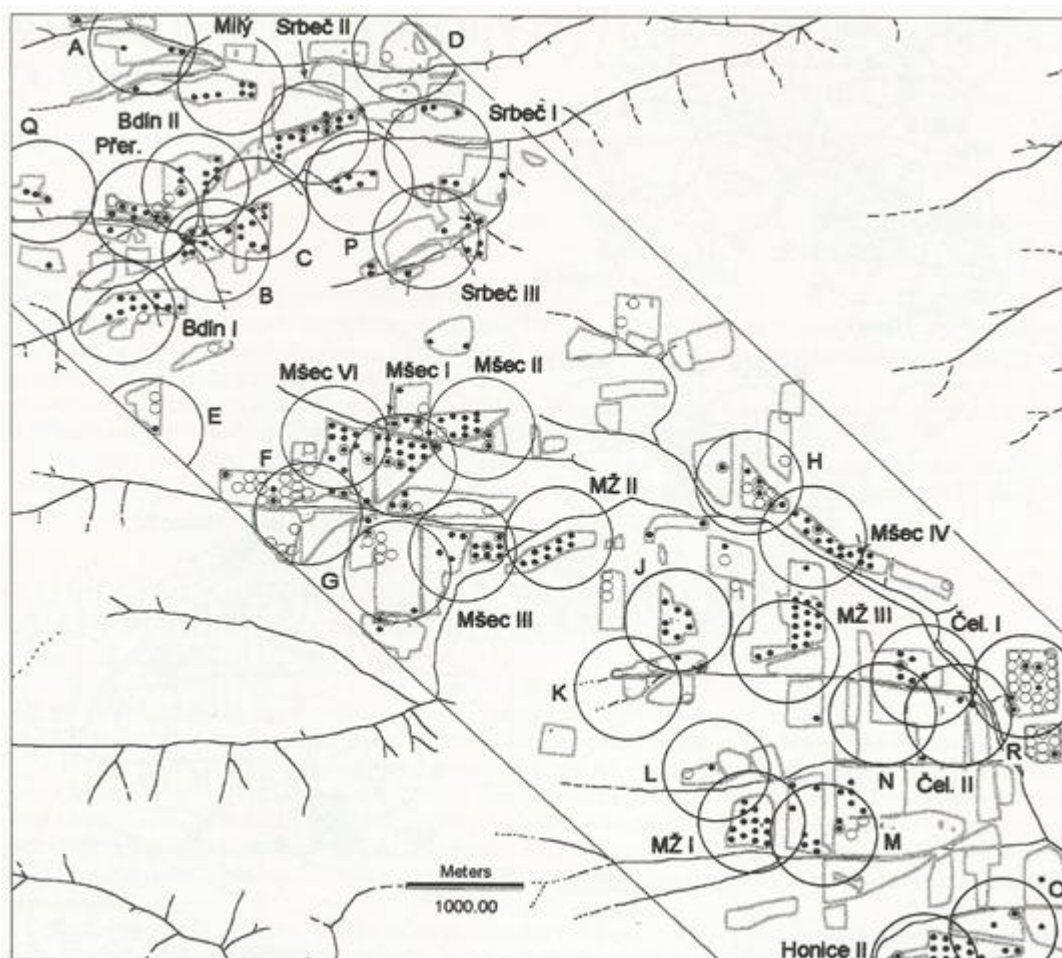
Obrázek č. 9: Výroba železa v regionu Loděnice (podle výsledků tradičních výzkumů a průzkumů) (VENCLOVÁ a kolektiv 2001 – upravený obrázek).

Legenda: 1 – Kounovská uhelná sloj, 2 – výchozy švartny, 3 – cenomanské pískovce (eventuálně obsahující lavice s bohatším obsahem železa), 4 – lokality s výrobou železa, 5 – oblasti studovaného území.

5. Metodika

5.1 Výběr zájmové oblasti

Zájmová oblast byla vybrána z důvodu jejího předchozího velmi kvalitního archeologického průzkumu, provedeného VENCLOVOU a kolektiv (2001). Byly zde nalezeny konkrétní lokality, na kterých probíhalo hutnění a kde se vyskytovaly pravděpodobné zdroje železa (**obrázek č. 10**).



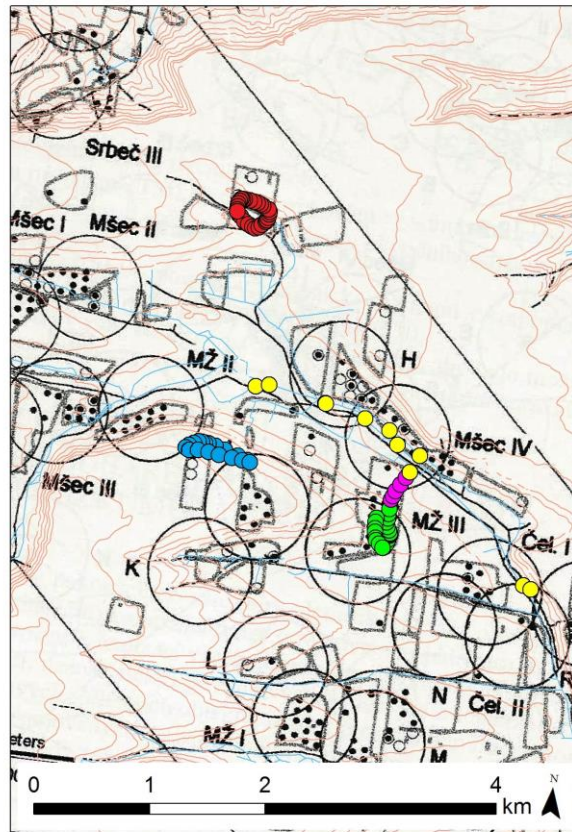
Obrázek č. 10: Archeologický průzkum provedený v oblasti studijního území - sběrové čtverce s nálezy hutnické strusky a pelosideritových konkrecí (VENCLOVÁ a kolektiv 2001).

Legenda: šedě ohraničené oblasti – sběrové čtverce, černé tečky – nálezy hutnické strusky, prázdné kroužky – pelosideritové konkrece (pravděpodobné zdroje železa), kruhy (o poloměru 500 m) – obsahují obytnou komponentu, lokality – názvy a specifikace jednotlivých lokalit viz VENCLOVÁ a kolektiv (2001).

5.2 Terénní odběr vzorků

Terénní odběr vzorků byl proveden v průběhu listopadu 2014 a ledna 2015 na celkem pěti lokalitách studijního území, určených na základě archeologického průzkumu provedeného VENCLOVOU a kolektiv (2001) (**obrázek č. 10**). Promítnutí lokalit odběru vzorků do mapy s výsledky tohoto archeologického průzkumu je znázorněno níže na **obrázku č. 11**. Vzorkovány byly tedy konkrétně tři lokality s doloženou hutní aktivitou a dvě lokality představující čisté pozadí. Obě „čisté“ lokality jsou situovány na vyvýšených místech, což vylučuje možnou sekundární kontaminaci vlivem splavení z okolních hutnických oblastí.

- **Lokalita 1 (lodenice_aluvium)** – jedná se o poměrně rozsáhlou lokalitu v nivě potoka Loděnice, nacházející se po proudu od míst s doloženou hutní aktivitou.
- **Lokalita 2 (lodenice_smelting)** – vyvýšená lokalita ležící západně od obce Loděnice. V této lokalitě byla doložena hutnická aktivita, a i při sběru vzorků pro účely této práce zde bylo nalezeno velké množství hutnické strusky.
- **Lokalita 3 (msec_background)** – lokalita ležící východně od obce Mšec, bez dokladů o hutnické aktivitě. Jedná se tedy o prostor, který by měl představovat čisté pozadí bez výrazných jevů.
- **Lokalita 4 (zehrovice_background)** – rovinná lokalita ležící severozápadně od obce Mšecké Žehrovice, bez dokladů o hutnické aktivitě. Jedná se tedy o druhou lokalitu představující čisté pozadí.
- **Lokalita 5 (lodenice_slope-aluvium)** – lokalita ležící ve svahu přímo pod lokalitou 2, kde bylo doloženo hutnění železa. Očekává se zde tedy sekundární kontaminace.



Obrázek č. 11: Zasazení lokalit odběru vzorků do mapy s výsledky archeologického průzkumu provedeného VENCLOVOU a kolektiv (2001).

Legenda: body znázorňují konkrétní místa odběru vzorků, jejich barva pak příslušnost do jednotlivých lokalit; žlutá barva – lokalita 1, zelená barva – lokalita 2, červená barva – lokalita 3, modrá barva – lokalita 4, růžová barva – lokalita 5.

Vlastní odběr vzorků byl proveden dvěma způsoby, a to buď povrchovým sběrem, nebo půdními vrty. Povrchový sběr byl prováděn ve všech zkoumaných lokalitách (získán 1 vzorek z lokality 1; 27 vzorků z lokality 2; 11 vzorků z lokality 3; 17 vzorků z lokality 4 a 5 vzorků z lokality 5), půdní vrty pak pouze v lokalitě 1 (celkem 10 vrtů v nivě potoka Loděnice), kde se vlivem splavování předpokládá sedimentace a vrstvení půdních nánosů. Všechny odebrané vzorky byly ihned registrovány a baleny do papírových sáčků pro účely další chemické analýzy. U každého odběru byly také zaznamenány GPS souřadnice, umožňující přesné zanesení míst odběru do mapy studijního území (**příloha č. 1 - 5**, mapy zpracovány v programu ArcMap 10.1).

5.2.1 Půdní vrty

Tento typ odběru se provádí pomocí půdní sondy. Jedná se o ocelovou půdní jehlu žlábkového tvaru, o délce přibližně 125 cm, na jejímž spodním konci je ostrý hrot pro snadný vrt. Sonda se do půdního profilu zaráží palicí (viz **příloha č. 6**). Hloubka zaražení sondy je pak daná prostupností půdy v konkrétním místě odběru. Po vytažení sondy z půdy se nejprve provede její očištění od druhotných nečistot (seříznutím nožikem) a zaznamená se popis půdního profilu, viditelného ve žlábků sondy. Ze žlábků se poté odebírají jednotlivé vzorky. Pro účely této práce byly jednotlivé vzorky odebírány po úsecích o délce 10 cm, přičemž první úsek 0-10 cm představuje nejsvrchnější část půdy (odpovídající povrchovému sběru). U každého vrtu byl proveden a zaznamenán popis jednotlivých sedimentačních vrstev a určení jejich barevnosti za pomoci Munsellovy tabulky barevnosti půd (viz **příloha č. 7**). Seznam a charakteristika všech vzorků odebraných půdními vrty je uveden v **příloze č. 8**.

5.2.2 Povrchový sběr

Tento způsob vzorkování se provádí sběrem na povrchu terénu. Velikost odebíraných vzorků byla přibližně 3 cm³. Odebírána byla pouze samotná půda bez porostu a dalších větších nečistot. V lokalitě 2 byla také nalezena a odebrána vlastní hutnická struska. Seznam všech vzorků získaných povrchovým sběrem je uveden v **příloze č. 9**.

5.3 Zpracování a analýza vzorků

Samotné zpracování a měření vzorků probíhalo v laboratořích Fakulty životního prostředí, České zemědělské univerzity v Praze. Odebrané vzorky v papírových sáčcích byly vloženy do horkovzdušné sušárny a sušeny při teplotě 40 °C po dobu 24 hodin. Před vlastním měřením pak byla jemnozerně ručně nadrcena v hmoždíři (absence hrudek zvyšuje kvalitu zpracovávaného měření). Takto zpracované vzorky byly vloženy do speciální plastové nádoby a analyzovány pomocí energeticky disperzní rentgenové fluorescenční spektrometrie (ED-XRF). Pro měření byl použit přístroj Delta Professional (InnovX), kalibrovaný na sadu "NIST Traceable Chemical and Spectrochemical Standards" (Analytical Reference Materials International Inc.). Ve vzorcích byl stanovován obsah celkem 37

konkrétních prvků (viz **tabulka č. 1** v další kapitole) a dále sumární obsah tzv. light elements (LE), což je skupina prvků lehčích než hořčík (tedy vodík až sodík dle periodické soustavy prvků - tyto prvky jsou stanovovány v sumě, jelikož XRF spektrometr je sice schopen detekovat jejich záření, ale to je tak slabé, že od sebe jednotlivé prvky nerozezná). Jedna analýza trvala 1 minutu (30 s při 10 kV, 30 s 40 kV), přičemž každý vzorek byl měřen ve třech opakováních. Naměřená data byla přenesena do počítače a uložena v souboru formátu Microsoft Excel pro další statistické zpracování.

5.4 Statistické zpracování a vyhodnocení dat

5.4.1 Rozdělení vzorků do kategorií dle evidovaných charakteristik

Odebrané vzorky byly rozděleny do tří kategorií, v rámci kterých pak bylo provedeno jejich statistické porovnání.

- **Lokalita (Area)** – porovnání vzorků odebraných v různých lokalitách (pro posouzení rozdílu mezi jednotlivými lokalitami sběru).
- **Poloha vrtu (Site)** – porovnání jednotlivých půdních vrtů, odebraných v různých částech lokality 1 (při srovnávání vrtů mezi sebou byly brány jako celek, tedy bez rozlišení hloubek).
- **Hloubka vrtu (Depth)** – porovnání dílčích vzorků půdních vrtů, odebraných ve stejné hloubce, ale v různé části lokality 1 (při srovnávání hloubek nebyly rozlišovány jednotlivé vrty).

5.4.2 Výběr analyzovaných prvků pro statistické zpracování

Pro statistické porovnání vzorků byla použita data pouze z vybraných analyzovaných prvků. Výběr byl proveden na základě četnosti výskytu prvku ve vzorcích (tedy dle počtu měření, u nichž proběhlo úspěšné stanovení prvku).

5.4.3 Použité nástroje statistické analýzy

Statistická analýza dat byla prováděna pomocí komplexního statistického softwaru Statistica 10, obsahujícího všechny nutné prostředky pro správu dat, jejich analýzu a vizualizaci. Data byla zpracována pomocí následujících metod: (i) analýza hlavních komponent a faktorová analýza a (ii) analýza rozptylu.

(i) Analýza hlavních komponent (PCA) a faktorová analýza (FA)

Analýza hlavních komponent (Principal Component Analysis, PCA) a její rozšíření, faktorová analýza (FA), jsou metodami vícerozměrné statistické analýzy, které slouží k redukci počtu původních proměnných (naměřených dat) a zjednodušení jejich interpretace, a to bez velké ztráty informace. Obě metody se také označují jako metody s latentními proměnnými – protože popisují a v jistém smyslu vysvětlují pozorovaná data pomocí jejich závislosti na nepozorované charakteristice, kterou lze za určitých předpokladů matematicky zkonstruovat. Jde o vyjádření původních proměnných pomocí menšího počtu v pozadí stojících a tedy skrytých (umělých, neměřitelných, latentních) proměnných. Tyto nově vytvořené proměnné jsou získány lineární kombinací původních měřitelných proměnných (SEBERA 2012).

Cílem metody PCA je tedy lineární transformace původních proměnných na nové, nekorelované (vzájemně nezávislé) proměnné, takzvané hlavní komponenty. Základní charakteristikou každé hlavní komponenty je její míra variability, čili rozptyl. Hlavní komponenty jsou seřazeny podle důležitosti, tedy dle klesajícího rozptylu (od největšího k nejmenšímu), přičemž většina informace o variabilitě původních dat je soustředěna do první komponenty a nejméně informace je obsaženo v poslední komponentě. Pracuje se pouze s několika prvními hlavními komponentami – pro rozhodnutí o počtu komponent lze použít několik pomocných kritérií, pro účely této práce byla kritériem hodnota vlastních čísel komponent (eigenvalue) větší než 1 (MELOUN a; SEBERA 2012).

Ve srovnání s metodou PCA hledá faktorová analýza především vzájemné souvislosti mezi vstupními proměnnými, opět za pomoci vytváření nových latentních proměnných, označovaných tentokrát jako faktory. Jedním ze základních cílů FA je posoudit strukturu vztahů sledovaných proměnných a zjistit, zda dovoluje jejich rozdělení do skupin, ve kterých by studované proměnné ze stejných skupin spolu více korelovaly než proměnné z různých skupin. Vlastní FA je prováděna v několika krocích. Nejprve je určen počet faktorů, například pomocí metody PCA. Poté jsou určeny faktorové zátěže mezi faktory a původními proměnnými a pro lepší interpretovatelnost je ještě provedena rotace matice faktorových zátěží (neboli otočení, transformace faktorů do nové podoby, která je snadnější k vysvětlení - existuje celá řada rotačních algoritmů, pro účely této práce byla použita metoda

rotace varimax). Pro lepší interpretaci je dobré, aby faktorové zátěže byly buď blízko ± 1 , nebo 0, což znamená, že korelační koeficient vztahu mezi původní proměnnou a faktorem (jejich vzájemný vztah, závislost) je buď silný, nebo slabý (žádný). Prvky jsou tedy přiřazeny k tomu faktoru, pro který mají nejvyšší hodnotu faktorové zátěže - v rámci této práce byla rozhodující (minimální) hodnota nastavena na $\pm 0,7$. Posledním krokem FA pak bývá odhad faktorového skóre (výpočet faktorů pro jednotlivá měření/vzorky) (MELOUN b; SEBERA 2012).

(ii) **Analýza rozptylu (ANOVA)**

Analýza rozptylu (Analysis of Variance, ANOVA) je statistickým nástrojem pro zkoumání vztahu mezi tzv. vysvětlovanými (závislými) a vysvětlujícími (nezávislými) proměnnými. Vysvětlované proměnné jsou vždy kvantitativní (číselné), u vysvětlujících proměnných, označovaných jako faktory, na typu nezáleží – mohou tedy být i kvalitativní (slovní). Pro účely této práce byla použita jednofaktorová ANOVA, která umožňuje zkoumat vliv jednoho faktoru na jednu vysvětlovanou proměnnou – zde konkrétně vliv jedné z definovaných kategorií (lokalita, poloha vrtu, hloubka vrtu) na jeden z analyzovaných prvků (případně rovnou na faktor získaný pomocí FA). Principem metody je porovnání rozptylů pro soubory hodnot dané kategorie (NEUBAUER). V případě, že ANOVA prokáže vliv testovaného faktoru, tedy ukáže rozdíl mezi skupinami vzorků srovnávanými v rámci jedné kategorie, mělo by být ještě provedeno takzvané post-hoc (následné) porovnání, které posuzuje statistickou významnost těchto rozdílů. Existuje celá řada post-hoc testů, jedním z nejvyužívanějších je však Tukeyova metoda mnohonásobného porovnávání, použitá i v rámci této práce (DUBJAKOVÁ 2009).

6. Výsledky práce

6.1 Zhodnocení půdních profilů ve vrtech v nivě potoka Loděnice

Všechny půdní profily, mimo tři (jednotlivě popsány níže), měly velmi podobný charakter. Svrchní část byla kyprá, prokořeněná, humózní, s tmavě hnědou barvou. Spodní část jílovitá, ulehlá a vlhká, se světle hnědou barvou. Svrchní část přecházela ve spodní v rozmezí 30 - 60 cm hloubky. Docházelo k postupnému vymizení prokořenění, utuhnutí a zesvětlování barvy (detailní popis všech vrtů v **příloze č. 8**).

Odlišnosti:

- Vrt 6 měl ve spodní části (93 – 98 cm) neobvyklou šedou barvu – Munsell: GLEJ 1 5/10GY
- Vrt 8 byl proveden v nedávno zaplaveném prostoru a všechny vrstvy vypadaly totožně.
- Vrt 10 se od ostatních odlišuje polohou (vzdáleností od toku potoka) a složením spodní části. Ta je převážně písčítá, suchá a v šedých odstínech. Vrt byl proveden zřejmě v náhonu bývalého mlýna.

U poloviny vrtů se nepodařilo získat vzorky až z konečné hloubky 100 cm, vlivem otevřeného provedení sondy (spodní část půdy ze sondy „vypadne“ při jejím vytahování).

6.2 Výběr analyzovaných prvků pro statistické zpracování

Pro statistické porovnání vzorků bylo z celkových 38 analyzovaných prvků (včetně skupiny LE) vybráno 16 prvků, které byly ve vzorcích stanoveny nejčastěji. Přehled analyzovaných prvků je uveden v **tabulce č. 1**, spolu s informací o počtu měření, u nichž proběhlo úspěšné stanovení daného prvku (provedeno bylo celkem 539 měření, zahrnujících i opakovaná stanovení vzorků). Prvky vybrané pro statistické zpracování jsou v tabulce zvýrazněny – kromě zmíněné úspěšnosti stanovení byla při výběru prvků uvažována také jejich možná souvislost s výskytem železných rud (například posledním vybraným prvkem je měď, která může mít právě tuto souvislost a ještě dosáhla tolerovatelného počtu úspěšných měření – zde přes

90 %). V následujících analýzách jsme vždy pracovali s hladinou statistické významnosti o hodnotě 0,050.

Tabulka č. 1: Přehled prvků vybraných pro statistické zpracování (tučně zvýrazněny prvky vybrané pro další analýzy).

Prvek	Počet úspěšných měření	Prvek	Počet úspěšných měření
Hliník (Al)	539	Thorium (Th)	209
Křemík (Si)	539	Uran (U)	118
Draslík (K)	539	Molybden (Mo)	57
Železo (Fe)	539	Chrom (Cr)	41
Zirkonium (Zr)	539	Rtuť (Hg)	37
Fosfor (P)	538	Wolfram (W)	11
Rubidium (Rb)	538	Hořčík (Mg)	10
Vápník (Ca)	536	Bismut (Bi)	10
Titan (Ti)	536	Yttrium (Y)	7
„Light Elements“ LE	536	Chlór (Cl)	3
Arsen (As)	534	Stříbro (Ag)	3
Mangan (Mn)	533	Kobalt (Co)	1
Stroncium (Sr)	533	Kadmium (Cd)	1
Zinek (Zn)	529	Antimon (Sb)	1
Olovo (Pb)	521	Selen (Se)	0
Měď (Cu)	487	Indium (In)	0
Vanad (V)	463	Cín (Sn)	0
Nikl (Ni)	338	Zlato (Au)	0
Síra (S)	334	Thallium (Tl)	0

6.3 Analýza hlavních komponent (PCA) a faktorová analýza (FA)

Analýzy PCA a FA byly využity pro prvotní třídění dat a jejich zjednodušení pro další interpretaci. Dle PCA bylo zjištěno, že celkový rozptyl původních dat lze vysvětlit pomocí 16 hlavních komponent (**tabulka č. 2**). První čtyři komponenty, mající hodnotu vlastního čísla (eigenvalue) větší než 1, pak byly vybrány pro faktorovou analýzu (první hlavní komponenta vystihuje 39 % variability původních dat, druhá 18 %, třetí 14 % a čtvrtá 7 %; zbylých 13 komponent může být zanedbáno, protože dohromady vysvětlují jen 22 % variability dat).

Pomocí FA pak byly extrahovány čtyři faktory a zjištěny hodnoty faktorové zátěže mezi extrahovanými faktory a původními proměnnými. Z těchto hodnot,

uvedených v **tabulce č. 3.**, lze vyvodit souvislost mezi faktory a obsahem jednotlivých sledovaných prvků: první faktor má souvislost se třemi prvky a skupinou prvků „light elements“ (K, Zr, Ti, LE), druhý se sedmi prvky (Al, Si, Fe, As a dále také Mn, P, Rb, jejichž hodnota faktorové zátěže byla sice mírně nižší než 0,7, ovšem jejich vztah k tomuto faktoru byl nejsilnější), třetí se třemi prvky (Zn, Cu, Pb) a čtvrtý se dvěma prvky (Ca, Sr). Z výsledných hodnot faktorové zátěže je také patrné, že korelace mezi sledovanými prvky a příslušnými faktory mohou být jak pozitivní (kladné hodnoty), tak negativní (záporné hodnoty).

Tabulka č. 2: Tabulka vlastních čísel (eigenvalues) komponent dle PCA

Pořadí	Vlastní číslo	% celkového rozptylu	Kumulativní vlastní číslo	Kumulativní %
1	6,2506	39,0664	6,2506	39,0664
2	2,8904	18,0653	9,1411	57,1318
3	2,2377	13,9857	11,3788	71,1174
4	1,1609	7,2556	12,5397	78,3730
5	0,8746	5,4662	13,4143	83,8392
6	0,6715	4,1967	14,0857	88,0359
7	0,5651	3,5319	14,6509	91,5679
8	0,3617	2,2608	15,0126	93,8287
9	0,2728	1,7049	15,2854	95,5336
10	0,2191	1,3692	15,5044	96,9028
11	0,1764	1,1026	15,6809	98,0054
12	0,1416	0,8853	15,8225	98,8906
13	0,0684	0,4277	15,8909	99,3183
14	0,0581	0,3629	15,9490	99,6812
15	0,0504	0,3152	15,9994	99,9964
16	0,0006	0,0036	16,0000	100,0000

Tabulka č. 3: Hodnoty faktorové zátěže mezi faktory extrahovanými faktorovou analýzou a původními proměnnými.

Původní proměnné	Faktorové zátěže (varimax normalizovaný)			
	Faktor (1)	Faktor (2)	Faktor (3)	Faktor (4)
Al	0,1243	-0,7664	0,2347	0,2251
Si	0,6276	0,7014	-0,2263	0,0486
K	0,9291	0,2028	0,0468	0,1370
Fe	-0,3856	-0,8791	-0,0407	0,0613
P	-0,5013	-0,6324	-0,0513	0,1167
Zr	0,8530	0,3618	0,0546	0,0939
Rb	0,3886	-0,6727	0,3452	-0,1883
LE	-0,7704	0,0412	0,4173	0,1276
Ti	0,8752	0,2079	0,1966	0,2248
Ca	-0,4435	0,0999	0,0836	-0,7979
As	-0,3912	-0,8244	0,0119	0,0475
Mn	-0,2008	-0,6503	0,1004	0,0844
Sr	0,0682	0,1308	0,1294	-0,9415
Zn	-0,1461	-0,3676	0,7442	-0,1379
Cu	0,0473	-0,2322	0,7115	0,1036
Pb	0,0503	0,1641	0,7582	-0,2488
Expl.Var	4,3316	4,2672	2,1165	1,8243
Prp.Totl	0,2707	0,2667	0,1323	0,1140

6.4 Analýza rozptylu (ANOVA)

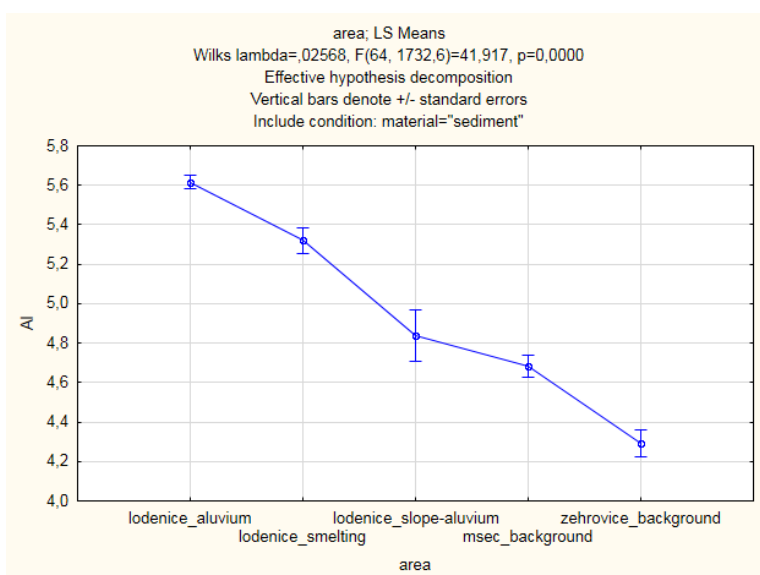
Analýza rozptylu byla využita za účelem zjištění možných rozdílů mezi jednotlivými skupinami vzorků v rámci těchto kategorií: lokalita (area), hloubka půdního vrtu (depth) a poloha půdního vrtu (site). Vzorky byly porovnávány na základě obsahu vybraných 16 prvků (**tabulka č. 1**). Pro porovnání byly také použity faktory zjištěné FA, které případné vlivy kategorií na jednotlivé prvky zjednodušují.

6.4.1 Kategorie: Lokalita

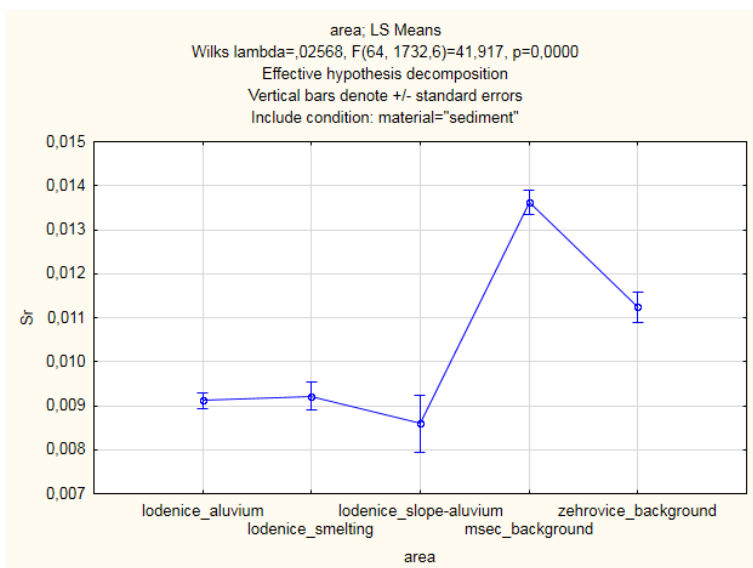
Cílem bylo posouzení rozdílu mezi jednotlivými lokalitami sběru vzorků, s důrazem na porovnání lokalit potenciálně kontaminovaných v důsledku historické výroby železa (lodenice_smelting – vysoká možnost primární kontaminace, lodenice_aluvium – možná sekundární kontaminace, lodenice_slope-aluvium – možná sekundární kontaminace) a lokalit představujících čisté pozadí (msec_background, zehrovice_background).

Jediným prvkem, jehož obsah byl významně vyšší ve vzorcích ze všech „kontaminovaných“ lokalit oproti vzorkům z obou lokalit s čistým pozadím, byl

hliník. Zcela nejvyšší obsah hliníku byl přitom stanoven ve vzorcích půdních vrtů v nivě potoka Loděnice (lokalita 1), dále v lokalitě s doloženou historickou hutní aktivitou (lokalita 2) a v oblasti na tuto lokalitu přímo navazující (lokalita 5), a nejnižší množství v lokalitách s čistým pozadím (lokalita 3 a 4). Graf z analýzy rozptylu, dokumentující obsah hliníku ve sledovaných lokalitách, je uveden na **obrázku č. 12**. Zcela opačná situace byla pozorována pro obsah stroncia – tento prvek dominoval v „čistých“ lokalitách, zatímco v oblastech potenciálně „kontaminovaných“ bylo jeho množství výrazně nižší (**obrázek č. 13**). Rozdíly mezi obsahem obou prvků v „čistých“ a potenciálně „kontaminovaných“ lokalitách, zjištěné analýzou rozptylu, byly potvrzeny také Tukeyovou metodou (jedná se tedy o rozdíly statisticky významné).

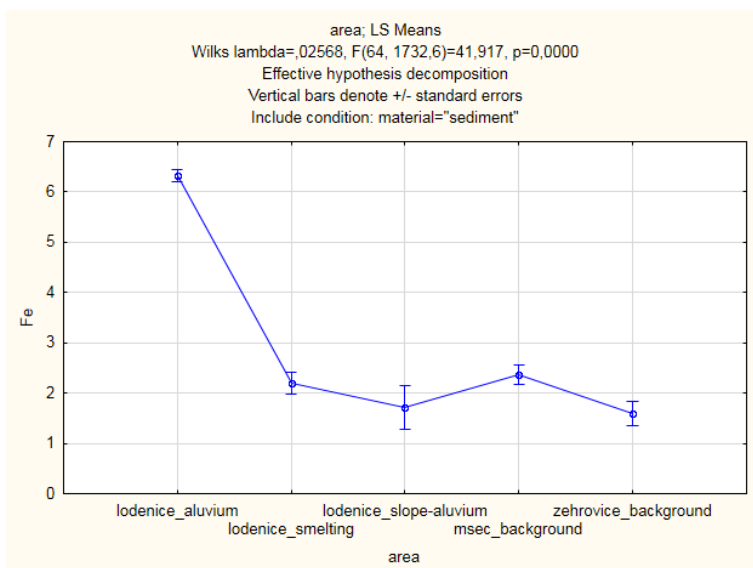


Obrázek č. 12: Vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem hliníku.

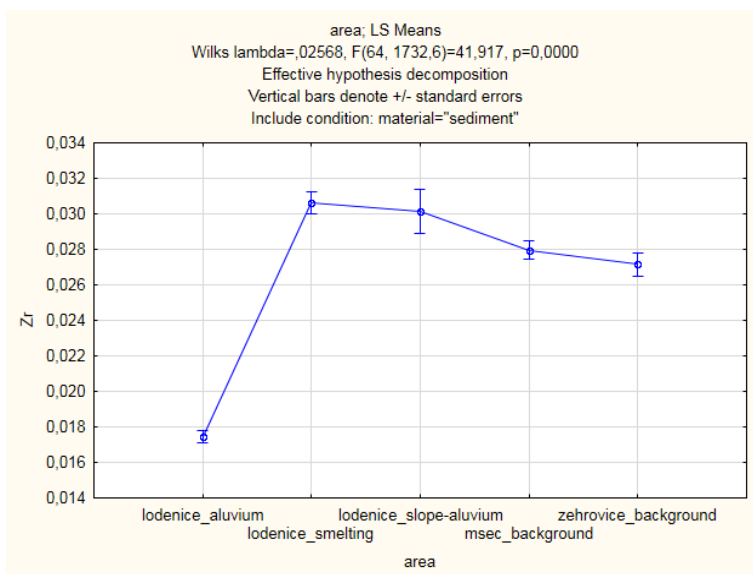


Obrázek č. 13: Vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem stroncia.

Pro řadu dalších prvků byla pozorována významná odlišnost obsahu ve vzorcích z půdních vrtů v lokalitě 1, přičemž v ostatních lokalitách byly hodnoty podobné (nedošlo tedy k úplnému rozdělení mezi hutními oblastmi a oblastmi s čistým pozadím). Rozdíl se projevoval jak významně zvýšeným (Fe, P, As, Mn, LE), tak i sníženým obsahem (Ti, Si, K, Zr) oproti ostatním lokalitám. Statistická významnost rozdílů byla potvrzena Tukeyovým testem. Ilustrativní příklad z obou skupin prvků je uveden na **obrázku č. 14 a 15**.

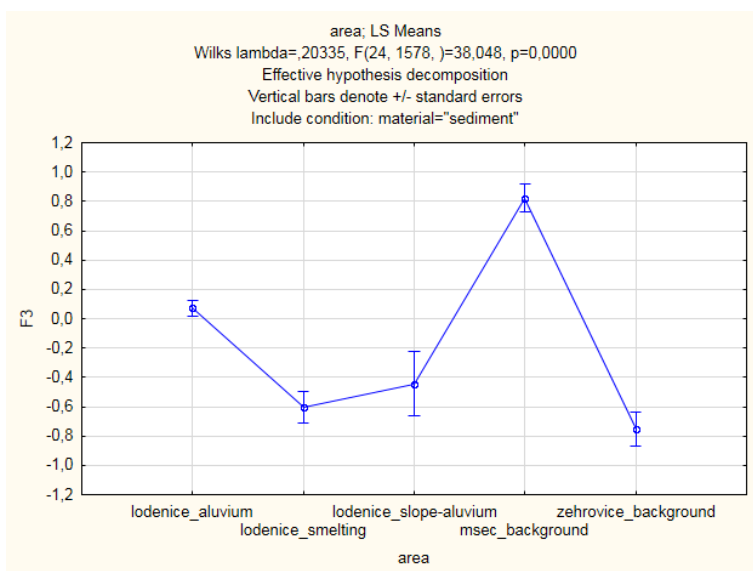


Obrázek č. 14: Vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem železa.



Obrázek č. 15: Vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem zirkonia.

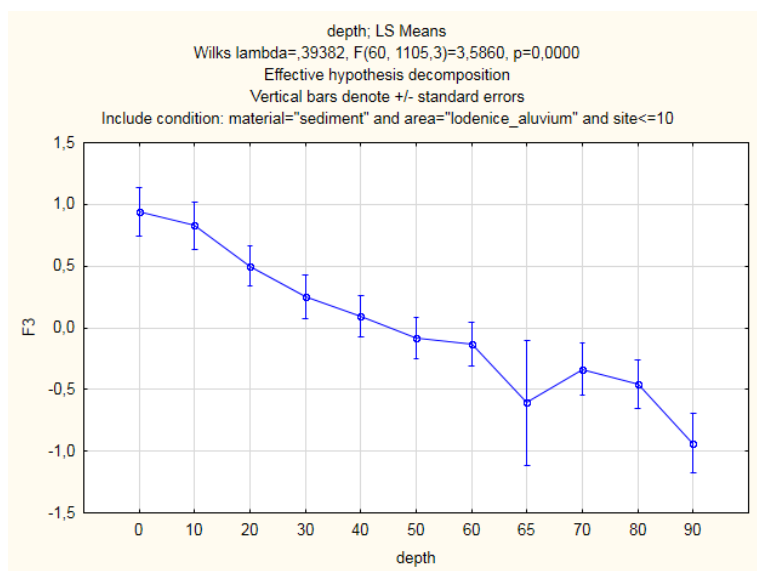
U zbývajících prvků (Rb, Zn, Cu, Pb, Ca) byly sice pozorovány různé hladiny pro různé lokality, ani v jednom případě však nedošlo k rozlišení všech „čistých“ a potenciálně „kontaminovaných“ lokalit, či ke statisticky významnému vymezení jedné ze zájmových (potenciálně „kontaminovaných“) lokalit. Typický pozorovaný vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem těchto prvků může být demonstrován prostřednictvím faktoru F3 (**obrázek č. 16**), který koreluje s prvky Zn, Cu a Pb.



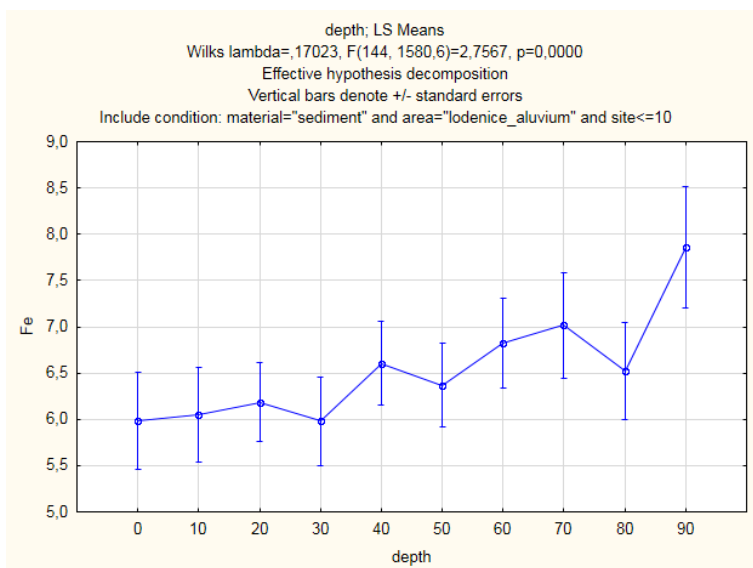
Obrázek č. 16: Vztah mezi lokalitou odběru vzorku a obsahem prvků korelujících s faktorem F3 z faktorové analýzy.

6.4.2 Kategorie: Hloubka vrtu

V rámci této kategorie byly porovnávány obsahy prvků v jednotlivých hloubkách půdních vrtů, provedených v nivě potoka Loděnice (lokalita 1, lodenice_aluvium). Pro prvky LE, Zn, Pb a Cu byl pozorován klesající obsah spolu s rostoucí hloubkou vrtu. Podle faktorové analýzy jsou tyto prvky spojeny s faktorem F3, jehož graf klesající množství potvrzuje (**obrázek č. 17**). Statistická významnost rozdílů v obsahu prvků byla potvrzena také Tukeyovou metodou. Pro obsah Fe (**obrázek č. 18**) a Si byl nejprve, na základě výsledků analýzy rozptylu, uvažován trend mírně rostoucího obsahu směrem do hloubky vrtu. Toto se ovšem Tukeyovým testem nepotvrdilo. U ostatních sledovaných prvků byly hodnoty v jednotlivých hloubkách vrtů srovnatelné již podle analýzy rozptylu.



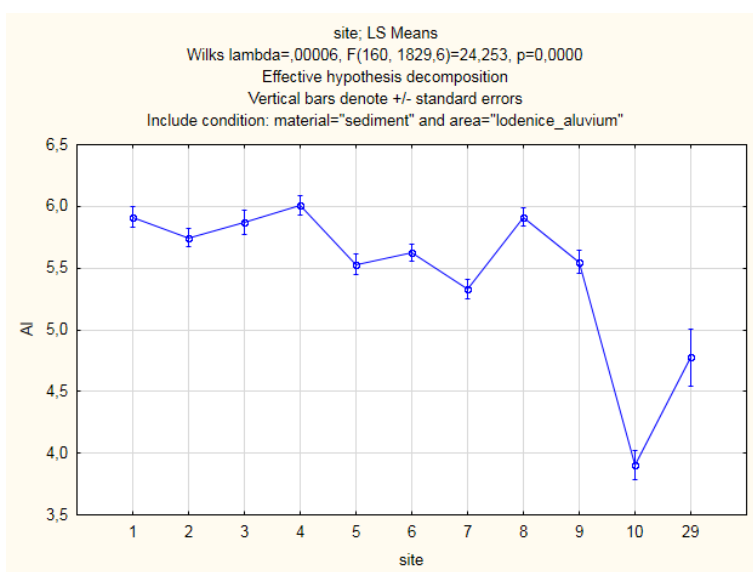
Obrázek č. 17: Vztah mezi hloubkou půdního vrtu a obsahem prvků korelujících s faktorem F3 z faktorové analýzy.



Obrázek č. 18: Vztah mezi hloubkou půdního vrtu a obsahem železa.

6.4.3 Kategorie: Poloha vrtu

Při tomto pohledu byly hodnoceny rozdíly mezi obsahem prvků v jednotlivých vrtech, odebraných v rámci lokality 1. Odlišnosti mezi jednotlivými vrty však byly naprosto minimální. Vychyloval se pouze vzorek 10 a 29, což je ovšem dané jejich rozdílnou povahou oproti vzorkům ostatním – vzorek 10 je půdní vrt, který byl proveden ve větší vzdálenosti od potoka, než ostatní vrty (v místě bývalého náhonu mlýna) a v případě vzorku 29 se jedná pouze o povrchový sběr v oblasti, nikoliv vrt. Situace je ilustrována na příkladu grafu znázorňujícího obsah hliníku v různých vzorcích z lokality 1 (**obrázek č. 19**).



Obrázek č. 19: Vztah mezi hloubkou půdního vrtu a obsahem hliníku.

7. Diskuse

V rámci experimentální práce bylo provedeno porovnání vzorků ze studijního území na základě měření obsahu různých chemických prvků. Získaná data byla podrobena statistické analýze, která umožňuje jejich jednodušší interpretaci. Pomocí analýzy hlavních komponent a faktorové analýzy byly jednotlivé prvky, nejčastěji naměřené ve vzorcích, seskupeny do čtyř skupin, v rámci kterých je obsah prvků ovlivněn stejnými faktory. Na základě obsahu těchto prvků pak mezi sebou byly z různých hledisek porovnávány jednotlivé vzorky. Cílem bylo nalézt prvek (nebo prvky), jehož obsah by mohl být pozůstatkem po historické výrobě železa ve studované oblasti – u takového prvku bychom proto očekávali jeho zvýšený obsah v lokalitě 2, kde byla dokumentována historická hutnická činnost (je to tedy oblast primární kontaminace) a potažmo i v lokalitě 5, která na lokalitu 2 přímo navazuje (lokalita 2 se nachází na kopci a lokalita 5 ve svahu tohoto kopce, předpokládá se zde tedy sekundární kontaminace). Sekundární kontaminace se předpokládá i v lokalitě 1, která začíná přímo pod další (nevzorkovanou) oblastí s dokumentovanou hutnickou aktivitou a pokračuje dále po proudu potoka Loděnice - zde bychom tedy v ideálním případě očekávali klesající trend obsahu prvku v řadě vzorků 1 až 10, v důsledku jeho splavení z primárně kontaminované oblasti a dalšího postupného šíření vodním tokem. V rámci jednotlivých půdních vrtů, provedených právě v lokalitě 1, bychom také očekávali buď pouze bodové zvýšení obsahu prvku v jedné ze spodních vrstev vrtu (tedy jen ve vrstvě sedimentu pocházejícího z období hutnické aktivity), nebo vlivem promíchávání nanášených vrstev sedimentu také postupně klesající koncentraci prvku směrem od hlubších (kontaminovaných) vrstev vrtu k vrstvám povrchovým. V lokalitách 3 a 4, představujících čisté pozadí (není zde dokumentována hutnická činnost), by pak obsah hledaného prvku měl být nižší.

7.1 Koncentrace analyzovaných prvků ve vzorcích

V České republice jsou dle Vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb. §2 stanoveny maximální přípustné hodnoty obsahu rizikových prvků v půdách (MŽP ČR). V rámci předkládané práce byly zjišťovány hodnoty všech těchto rizikových prvků (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V, Zn) a porovnávány s vyhláškou - pro porovnání byla použita tabulka maximálních přípustných hodnot pro celkový obsah rizikových prvků v půdách v mg.kg-1

stanovený rozkladem lučavkou královskou, jelikož tento postup poskytuje hodnoty odpovídající zde použitému postupu měření pomocí XRF. Žádný z prvků přítom ve vzorcích ani zdaleka nedosáhl maximálních hodnot stanovených vyhláškou. Jelikož převážná část vzorkované oblasti je využívána pro zemědělské účely, splňují tyto výsledky naše očekávání.

7.2 Výsledky PCA, faktorové analýzy a ANOVA

První sledovaná skupina prvků náleží k faktoru 1 a zahrnuje prvky draslík, zirkonium, „light elements“ a titan, přičemž korelace mezi ovlivňujícím faktorem a obsahem **K**, **Zr** a **Ti** je pozitivní a pro **LE** negativní (tedy pokud například u vzorků z určité lokality roste obsah K, roste zároveň i obsah Zr a Ti, ovšem klesá obsah LE a naopak). Obsah těchto prvků se výrazně odlišoval u vzorků z lokality 1, kde byly hodnoty K, Zr a Ti nejnižší, v případě LE pak nejvyšší ze všech sledovaných lokalit. Mezi polohou jednotlivých vrtů rozdíly nebyly. Obsah K, Zr a Ti se pak také značně lišil mezi dvojicemi lokalit 2, 5 (celkově nejvyšší obsah) a 3, 4. U prvků LE byla zase v rámci jednotlivých vrtů pozorována klesající koncentrace směrem k hlubším sedimentačním vrstvám, u ostatních prvků ze skupiny byla koncentrace ve všech vrstvách vrtů srovnatelná. Jelikož prvky K, Zr i Ti můžeme chápat jako reprezentanty běžného minerálního pozadí a LE jako vyjádření organické složky půdy (humusu – do LE patří organické prvky H, C, N, O), ukazují zřejmě tyto výsledky na rozdíly ve složení půdy mezi vzorkovanými oblastmi – tedy, že aluviální sediment v lokalitě 1 je značně humózní s menším obsahem minerální složky a naopak půda v lokalitách 2 a 5 obsahuje minerální složky nejvíce. Tyto závěry jsou podpořeny také vlastním umístěním lokalit v krajině – lokalita 1 se nachází v nivě potoka Loděnice, kde je vysoký obsah organického sedimentu přirozený (množství humusu je také přirozeně nejvyšší ve svrchních vrstvách sedimentu a směrem do hloubky klesá). Naopak lokalita 2 je umístěna na kopci a lokalita 5 přímo ve svahu tohoto kopce, takže je zde očekávaná jednak podobnost jejich půdního složení a také vyšší mineralizace půdy s menším obsahem organického humusu (snížení vrstvy humusu může být umocněno také současným využitím oblasti pro zemědělské účely). Faktor ovlivňující obsah této skupiny prvků by se dal tedy označit jako faktor půdního typu a příslušející prvky pak pravděpodobně nemají žádný vztah k historické hutnické aktivitě.

Další skupinou jsou prvky primárně ovlivněné faktorem 2, tedy především hliník, křemík, železo, arsen a potažmo pak také mangan, fosfor a rubidium. Korelace mezi ovlivňujícím faktorem a obsahem **Al, Fe, As, Mn, P** a **Rb** je negativní a pouze pro **Si** pozitivní. Všechny prvky vykazovaly významně odlišný obsah v lokalitě 1 (kromě méně korelujícího Rb, kde se podle analýzy rozptylu tato odlišnost sice projevila, ale Tukeyovým testem nebyla dále potvrzena jako statisticky významná), přičemž pro Al, Fe, As, Mn a P byl pozorován zvýšený obsah a pro Si snížený obsah oproti ostatním lokalitám. V těchto ostatních lokalitách pak byly hodnoty prvků srovnatelné. Výjimkou byl ovšem Al, jehož koncentrace byla významně vyšší i v ostatních potenciálně „kontaminovaných“ lokalitách (lokality 2 a 5). Žádný z prvků se neprojevil koncentračními rozdíly mezi jednotlivými vrstvami půdních vrtů v lokalitě 1, ani mezi samotnou polohou vrtů. Většina z uvedených prvků patří mezi běžné příměsi hornin – v nivě potoka Loděnice, kde je odlišné geologické podloží oproti ostatním lokalitám (podle VENCLOVÉ a kolektiv (2001) se například právě při břehu vzorkovaného potoka Loděnice vyskytuje cenomanský železitý pískovec, proželezněný limonitický tmelem - přičemž tento tmel je směs několika minerálů vzniklá rozkladem minerálů jiných), tak mohlo přirozeným procesem zvětrávání a působením povrchové vody docházet k uvolňování a usazování těchto prvků v aluviálním sedimentu. Kromě toho mohlo zároveň docházet i ke splavování těchto prvků z blízkého okolí. Snížený obsah Si v této oblasti mohl pak být způsoben jeho odplavením vodním tokem. Faktor ovlivňující obsah této skupiny prvků tak pravděpodobně bude faktorem geologického podloží, bez vztahu k historickému hutnictví železa. Velmi významnou výjimkou je zde ovšem prvek hliník, jehož obsah byl oproti „čistým“ lokalitám zvýšený nejen v lokalitě 1, ale i v lokalitách 2 a 5. Tento jev by mohl být vysvětlen skutečností, že hliník (ve formě sloučenin) je velmi často znečišťující příměsí sideritu a pelosideritu, což byl na diskutovaném území primární zdroj železa pro laténské a římské hutnictví. Nabohacení hliníku na hutnické lokalitě 2 (a mírně nižší obsah v navazující lokalitě 5) by tak mohlo být důsledkem dopravení pelosideritu na lokalitu hutnění a jeho následného zpracování. V tomto případě bychom pak očekávali zvýšenou koncentraci hliníku také ve spodních vrstvách vrtů v lokalitě 1, což se ovšem nepotvrdilo. Důvodem zde může být jednak možnost, že se hliník do aluviálního sedimentu vůbec nedostal, nebo že aluvium dostatečně nezaznamenává dobu hutnění (zkoumaný svrchní 1 m náplav je mladší).

Třetí skupina prvků souvisí s faktorem 3 a zahrnuje zinek, měď a olovo. Korelace mezi ovlivňujícím faktorem a obsahem **Zn**, **Cu** i **Pb** je pozitivní. Nejvyšší obsah těchto prvků byl pozorován v lokalitě 3 („čistá“), nacházející se v blízkosti obce Mšec. Zvýšený obsah byl také v lokalitě 1, která leží po proudu pod obcí Mšec a s lokalitou 3 je propojena vodním systémem. Může tedy docházet k šíření prvků (pravděpodobně splavením) z lokality 3, kde je jejich koncentrace vyšší, do lokality 1. U všech tří prvků se navíc projevil trend rostoucí koncentrace směrem k povrchovým vrstvám vrtů (rozdíly mezi polohou jednotlivých vrtů pozorovány nebyly). Tyto výsledky jasně ukazují na faktor moderní kontaminace prostředí, pravděpodobně antropogenního původu. Prvky tedy zřejmě nemají souvislost s historickou hutnickou aktivitou.

Poslední skupinou je dvojice prvků ovlivněná faktorem 4, konkrétně vápník a stroncium. Korelace mezi faktorem a oběma prvky je negativní. Množství **Ca** i **Sr** bylo podobně jako u předchozí skupiny prvků nejvyšší v lokalitě 3, v případě Sr pak také v lokalitě 4 (druhá „čistá“ lokalita). V ostatních lokalitách byly obsahy prvků srovnatelné, nedochází tedy k jejich splavování do lokality 1. V lokalitě 1 se neprojevily žádné rozdíly mezi vrstvami ani polohou jednotlivých vrtů. Zjištěné rozdíly v obsahu Ca a Sr mezi jednotlivými lokalitami zde tedy pravděpodobně zaznamenávají jinou, než historickou hutní aktivitu - faktorem by zde mohla opět být antropogenní kontaminace, ovšem jiného původu, než v případě prvků ovlivněných faktorem 3 (jelikož podle principu faktorové analýzy by spolu jednotlivé faktory neměly korelovat).

7.3 Využitelnost prvků v dalším výzkumu

Jelikož předmětem zkoumání, započatého v rámci předkládané práce, je identifikace půd a sedimentů kontaminovaných v důsledku historické těžby a hutnění železa, očekávalo se, že právě Fe bude ve studované hutnické lokalitě jeden z identifikátorů této činnosti. Daný předpoklad se překvapivě nepotvrdil, což však může být způsobeno překrytím antropogenního vlivu přirozeným výskytem Fe v přírodním prostředí. To by také mohlo vysvětlovat skutečnost, že ani žádný z dalších typických kontaminačních prvků vázaných na těžbu a hutnění (například As, Cu, Pb, Zn) neukázal jasný vztah k této historické aktivitě. Jediný do budoucna

využitelný vztah ukázal Al – zde je třeba zdůraznit, že hodnocení tohoto vztahu bude vždy vyžadovat velkou pečlivost, jelikož tento prvek je rovněž běžnou součástí půdy.

Výsledky získané během řešení této práce jasně ukazují směr postupu, kterým by se měl ubírat další návazný výzkum. Jde především o rozšíření vzorkovaných lokalit (a obecně o rozšíření vzorkování) pro získání dostatečně vypovídajících hodnot ze statistické analýzy. Současně je potřeba najít vhodné místo pro hloubkové sondování v aluviu (jelikož se ukázalo, že v horním 1 m se stará činnost nezaznamenala). Neméně významné je také navázání budoucí spolupráce s archeology, která by mohla přinést možnost vzorkovat i zkoumané archeologické lokality.

8. Závěr

Ze všech prvků sledovaných v odebraných vzorcích se jako jediný prvek se vztahem k historické těžební a hutní aktivitě ve studovaném území jeví hliník, jehož obsah byl zvýšený ve všech potenciálně primárně i sekundárně kontaminovaných lokalitách. Tento jev sice nebyl potvrzen předpokládaným nálezem zvýšené kontaminace spodních vrstev vrtů, což však může být způsobeno tím, že provedené půdní vrty svou hloubkou (1 m) nepostihly sedimentační vrstvu pocházející ze zkoumaného laténského a římského období. Provedený výzkum poskytuje významné prvotní informace o povaze kontaminace životního prostředí dané historickou těžbou a hutněním železa a umožňuje určit další směr při studiu tohoto fenoménu. Návazný budoucí výzkum tak bude zaměřen především na získání a analýzu ještě hlubších vrstev nivních sedimentů. Velmi přínosné by také mohlo být navázání spolupráce s archeology, zabývajícími se výzkumem ve studovaném území, kteří by mohly pro analýzu poskytnout sedimenty datované přímo do doby laténské a římské. Vedle pokračování výzkumu na Loděnicku budou zkoumána také další území s doloženou historickou výrobou železa, konkrétně je plánováno studium hutnického regionu Říčanska, kde již bylo provedeno prvotní mapování terénu pro účely odběru reprezentativních vzorků.

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

- ADRIANO D. C., BOLAN N. S., VANGRONSVELD J., WENZEL W. W., 2005: Heavy metals. Encyclopedia of soils in the environment, D. Hillel (Ed). Elsevier, Amsterdam: 175-182.
- ASH C., BORŮVKA L., TEJNECKÝ V., NIKODEM A., ŠEBEK O., DRÁBEK O., 2014: Potentially toxic element distribution in soils from the Ag-smelting slag of Kutná Hora (Czech Republic): Descriptive and prediction analyses. *Journal of Geochemical Exploration* 144: 328-336.
- BÁBEK O., FAMĚRA M., HILSCEROVÁ K., KALVODA J., DOBROVOLNÝ P., SEDLÁČEK J., MACHÁT J., HOLOUBEK I., 2011: Geochemical traces of flood layers in the fluvial sedimentary archive; implications for contamination history analyses. *Catena* 87: 281-290.
- BARTUSEK S., 2008: Studijní opora pro předmět Ochrana životního prostředí na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, online: <http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/616-Bartusek-Ochrana-zivotniho-prostredi.pdf>, cit. 4.4.2015.
- BEDÁŇ M. Historické dolování Fe-rud v širším okolí Bojkovic. Online: <http://miroslavbedan.webz.cz/mypage/bojkovice.htm>, cit. 3.4.2015.
- BEDNÁŘOVÁ Z., KUTA J., KOHÚT L., MACHAT J., KLÁNOVÁ J., HOLOUBEK I., JARKOVSKÝ J., DUŠEK L., HILSCEROVÁ K., 2013: Spatial patterns and temporal changes of heavy metal distributions in river sediments in a region with multiple pollution sources. *Journal of Soils and Sediments* 13: 1257-1269.
- BÍNA J., DEMEK J., 2012: Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha, 344 s., 1. vyd., ISBN 978-80-200-2026-0.
- BINDLER R., SEGERSTRÖM U., PETTERSON-JENSEN I. M., BERG A., HANSSON S., HOLMSTRÖM H., OLSSON K., RENBERG I., 2011: Early medieval origins of iron mining and settlement in central Sweden: multiproxy analysis of sediment and peat records from the Norberg mining district. *Journal of Archaeological Science* 38: 291-300.

- BING H., WU Y., SUN Z., YAO S., 2011: Historical trends of heavy metal contamination and their sources in lacustrine sediment from Xijiu Lake, Taihu Lake Catchment, China. *Journal of Environmental Sciences* 23: 1671-1678.
- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA: Mapová aplikace, verze 1B.2. Geologická mapa 1:50 000. Online: http://www.geology.cz/app/ciselnyky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=776415&x=1025866&r=4000&s=1&legselect=0, cit. 4.4.2015.
- DAVIS H. T., AELION C. M., MCDERMOTT S., LAWSON A. B., 2009: Identifying natural and anthropogenic sources of metals in urban and rural soils using GIS-based data, PCA, and spatial interpolation. *Environmental Pollution* 157: 2378-2385.
- DELGADO J., NIETO J. M., BOSKI T., 2010: Analysis of the spatial variation of heavy metals in the Guadiana Estuary sediments (SW Iberian Peninsula) based on GIS-mapping techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 88: 71-83.
- DENNIS I. A., COULTHARD T. J., BREWER P., MACKLIN M. G., 2009: The role of floodplains in attenuating contaminated sediment fluxes in formerly mined drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 453-466.
- DUBJAKOVÁ E., 2009: Metody mnohonásobného porovnávání pro jednoduché třídění. Diplomová práce. Nепublikováno, Dep.: Informační systém Masarykovy Univerzity, Brno, online: http://is.muni.cz/th/151390/prif_m/diplomova_prace_ed.pdf, cit. 1.4.2015.
- ETTLER V., MIHALJEVIČ M., ŠEBEK O., MOLEK M., GRYGAR T., ZEMAN J., 2006: Geochemical and Pb isotopic evidence for sources and dispersal of metal contamination in stream sediments district of Příbram, Czech Republic. *Environmental Pollution* 142: 409-417.
- FACCHINELLI A., SACHCI E., MALLÉN L., 2001: Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution* 114: 313-324.
- GÄBLER H. E., SCHNEIDER J., 2000: Assessment of heavy-metal contamination of floodplain soils due to mining and mineral processing in the Harz Mountains, Germany. *Environmental Geology* 39: 74-782.
- GRATTAN J.P., GILBERTSON D.D., HUNT C.O., 2007: The local and global dimensions of metalliferous pollution derived from a reconstruction of an eight

- thousand year record of copper smelting and mining at a desert-mountain frontier in southern Jordan. *Journal of Archaeological Science* 34: 83-110.
- GU Y. G., WANG Z. H., LU S. H., JIANG S. J., MU D. H., SHU Y. H., 2012: Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental Pollution* 163: 248-255.
- HAAG I., KERN U., WESTRICH B., 2001: Erosion investigation and sediment quality measurements for a comprehensive risk assessment of contaminated aquatic sediments. *Science of The Total Environment* 266 (1-3): 249-257.
- HEJCMAN M., MÜLLEROVÁ V., VONDRÁČKOVÁ S., SZÁKOVÁ J., TLUSTOŠ P., 2014: Establishment of *Bryum argenteum* and concentrations of elements in its biomass on soils contaminated by As, Cd, Pb and Zn. *Plant, Soil and Environment* 60 (11): 489-495.
- HILSCHEKOVÁ K., DUŠEK L., KUBÍK V., ČUPR P., HOFMAN J., KLÁNOVÁ J., HOLOUBEK I., 2007: Redistribution of organic pollutants in river sediments and alluvial soils related to major floods. *Journal of Soils and Sediments* 7: 167-177.
- HOLUB M., 1997: Produkce arzenu při těžbě drahých a barevných kovů. *Vesmír* 76 (7): 389. Online: <http://casopis.vesmír.cz/clanek/produkce-arzenu-pri-tezbe-drahych-a-barevných-kovu>, cit. 6.4.2015.
- HORÁK J., HEJCMAN M., 2013: Use of trace elements for historical mining for alluvial sediment dating. *Soil & Water Research* 8: 77-86.
- HÜRKAMP K., RAAB T., VÖLKL J., 2009: Two and three-dimensional quantification of lead contamination in alluvial soils of a historic mining area using field portable X-ray fluorescence (FPXRF) analysis. *Geomorphology* 110: 28-36.
- JIRÁSEK J., VAVRO M., 2008: Nerostné suroviny a jejich využití. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, ISBN 978-80-248-1378-3, online: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html, cit. 15.3.2015 .
- KNOX J. C., 2006: Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: Natural versus human accelerated. *Geomorphology* 79: 286-310.
- KOŘAN J., 1950: Dějiny dolování v rudním okrsku kutnohorském. The history of mining in ore region Kutná Hora. *Geotechnica* 11. Praha.

- KOŘAN J., 1978: České železářství v době průmyslové revoluce. Sborník Národního technického muzea; 17. Národní technické muzeum, Praha, 350 s.
- KRAHULCOVÁ Z., HARTLOVÁ D., ŽALUD L., MALEC J., 2002: Hodnocení prašnosti z plošných zdrojů po dobývání a zpracování rud v oblasti Kutná Hora. 41. symposium Hornická Příbram ve vědě a technice, Příbram 15.10.2002. Online: http://slon.diamo.cz/hpvt/2002/sekce/zahlazovani/Z08/P_08.htm, cit. 6.4.2015.
- LEE C.S., LI X., SHI W., CHEUNG SC., THORNTON I., 2006: Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment* 356: 45-61.
- LIU M., LIU X., LI J., LI T., 2012: Estimating regional heavy metal concentrations in rice by scaling up a field-scale heavy metal assessment model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19: 12–23.
- LUO W., LU Y., ZHANG Y., FU W., WANG B., JIAO W., WANG W., TONG X., GIESY J.P., 2010: Watershed-scale assessment of arsenic and metal contamination in the surface soils surrounding Miyun Reservoir, Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 91: 2599-2607.
- MAPY.CZ: Online: <http://www.mapy.cz/s/gN7T>, cit. 15.3.2015.
- MATSCHULLAT J., ELLMINGER F., AGDEMIR N., CRAMER S., LIEßMANN W., NIEHOFF N., 1997: Overbank sediment profiles – evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. *Applied Geochemistry* 12: 105-114.
- MELOUN M., a: Metoda hlavních komponent (PCA). Studijní materiály k přednáškám předmětu Chemometrie II na Univerzitě Pardubice, online: <http://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/44pca.pdf>, cit. 29.3.2015.
- MELOUN M., b: Faktorová analýza (FA). Studijní materiály k přednáškám předmětu Chemometrie II na Univerzitě Pardubice, online: <http://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/45fa.pdf>., cit. 29.3.2015.
- MIHALJEVIČ M., ZUNA M., ETTLER V., ŠEBEK O., STRNAD L., GOLIÁŠ V., 2006: Lead fluxes, isotopic and concentration profiles in a peat deposit near a lead smelter (Příbram, Czech Republic). *Science of the Total Environment* 372: 334-344.

- MIKYŠKA R., 1968-1972: Geobotanická mapa ČSSR. 1. České země, Academia, Praha.
- MILLER J. R., 1997: The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. *Journal of geochemical exploration* 58: 101-118.
- MÜLLEROVÁ V., HEJCMAN M., HEJCMANOVÁ P., PAVLŮ V., 2014: Effect of fertilizer application on *Urtica dioica* and its element concentrations in a cut grassland. *Acta Oecologica*, 2014 (59): 1-6.
- MŽP ČR: Vyhláška ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, §2 Vymezení nejvýše přípustného obsahu škodlivých látek v půdě, v platném znění, online:
<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/43b5a6e50d46eb69c12564ea003de8b0?OpenDocument>, cit. 9.4.2015.
- NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE a: Půdní mapa České republiky 1:250000. Zdrojová služba: © CENIA, česká informační agentura životního prostředí, zdrojová data: © Agentura ochrany přírody a krajiny, online:
http://geoportal.gov.cz/arcgis/services/CENIA/cenia_typy_pud/MapServer/WmsServer?LAYERS=0&TRANSPARENT=TRUE&INFO_FORMAT=application%2Fvnd.esri.wms_featureinfo_xml&VERSION=1.3.0&OWSSERVICE=WMS&FORMAT=image%2Fpng&STYLES=default&EXCEPTIONS=INIMAGE&SERVICE=WMS&REQUEST=GetMap&CRS=EPSG%3A102067&BBOX=-792650.62473896,-1034642.5338538,-761134.70275758,-1017960.4578622&WIDTH=1969&HEIGHT=1042, cit. 4.4.2015.
- NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE b: Fytogeografické členění ČR. Zdrojová služba: © CENIA, česká informační agentura životního prostředí, zdrojová data: © Agentura ochrany přírody a krajiny, online:
<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map?permalink=6ee827a77328b374dad3f401ae7ddf4f>, cit. 4.4.2015.
- NÁRODNÍ MUZEUM, 2012 – 2013a: Pravek a středověk v českých zemích. Archeologie na dosah, Edukace a prezentace archeologického kulturního dědictví, Praha, online: <http://www.archeologienadosah.cz/o-archeologii/chronologie/pravek-stredovek-cr>, cit. 30.8.2014.
- NÁRODNÍ MUZEUM, 2012 – 2013b: Přehled pravěkých období na našem území. Archeologie na dosah, Edukace a prezentace archeologického kulturního

- dědictví, Praha, online: <http://www.archeologienadosah.cz/o-archeologii/chronologie/prehled-pravekych-obdobi-na-nasem-uzemi/>, cit. 30.8.2014.
- NÁRODNÍ REGISTR PRAMENŮ A STUDÁNEK: Pramen Loděnice (Kačáku) (2041). Online: <http://www.estudanky.eu/2041-pramen-lodenice-kacaku>, cit. 15.3.2015.
- NEUBAUER J.: Analýza rozptylu. Studijní materiály k přednáškám předmětu Statistika II – ekonometrie na Univerzitě obrany, Brno, online: <http://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/anova.pdf>, cit. 29.3.2015.
- NOVÁČEK K., 2001: Nerostné suroviny středověkých Čech jako archeologický problém (bilance a perspektivy výzkumu se zaměřením na výrobu a zpracování kovů). Archeologické rozhledy 53: 279-309. Online: <http://www.kar.zcu.cz/texty/Novacek2001.htm#ekol>, cit. 6.4.2015.
- PITTER P., 1990: Hydrochemie. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 565 s., 2. přepracované a rozšířené vyd., ISBN 80-03-00525-6.
- PLEINER R., 2006: Iron in Archeology: Early European Blacksmiths. Archeologický ústav AV ČR, Praha, 384 s.
- PLEINER R., KOŘAN J., KUČERA M., VOZÁR J., 1984: Dějiny hutnictví železa v Československu 1. Academia, Praha, 296 s.
- PODBORSKÝ V., 2006: Dějiny pravěku a rané doby dějinné. Masarykova univerzita, Brno, 325 s., 3. vyd., ISBN 80-210-4153-6.
- SALAČ V. [ed.], DROBERJAR E., MILITKÝ J., MUSIL J., URBANOVÁ K., 2008: Archeologie pravěkých Čech 8. Doba římská a stěhování národů. Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Praha, 214 s., ISBN 978-80-86124-81-0.
- SEBERA M., 2012: Vícerozměrné statistické metody. Katedra kineziologie, Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita, Brno, online: http://www.fsps.muni.cz/~sebera/vicerozmerna_statistika/default.html, cit. 28.3.2015.
- SOLLITO D., ROMIC M., CASTRIGNANÒ A., ROMIC D., BAKIC H., 2010: Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate analysis. Catena 80: 182-194.
- SPARKS D. L., 2005: Toxic metals in the environment: The role of surfaces. Elements 1 (4): 193-197.

- TOLASZ R., MÍKOVÁ T., VALERIÁNOVÁ A., VOŽENÍLEK V., 2007: Atlas podnebí Česka. Univerzita Palackého v Olomouci – ČHMÚ, Olomouc, 355 s., ISBN 978-80-244-1626-7.
- TOMÁŠEK M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 67 s., 4. vyd., ISBN 978-80-7075-688-1.
- VANĚČEK M. [ed.], 1995: Nerostné suroviny světa. Rudy a nerudy. Academia, Praha, 543 s.
- VANĚČKOVÁ M., 2007: Historický vývoj těžby nerostných surovin na Příbramsku v 19. a 20. století a její vliv na životní prostředí. Diplomová práce. Nepublikováno, Dep.: Informační systém Masarykovy univerzity, Brno, online: https://is.muni.cz/th/79069/fss_m/diplomova_prace.txt, cit. 6.4.2015.
- VANĚK A., ETTLER V., GRYGAR T., BORŮVKA L., ŠEBEK O., DRÁBEK O., 2008: Combined chemical and mineralogical evidence for heavy metal binding in mining- and smelting-affected alluvial soils. *Pedosphere* 18(4): 464-478.
- VENCLOVÁ N., ČULÍKOVÁ V., DRESLEROVÁ D., GREGEROVÁ M., HLOŽEK M., KOVAČIKOVÁ L., KYSELÝ R., MALKOVSKÝ M., MAREK F., PEŠKE L., ZAVŘEL J., 2008a: Hutnický region Říčansko. Archeologický ústav AV ČR, Praha, 318 s., ISBN 978-80-86124-90-2.
- VENCLOVÁ N. [ed.], DRDA P., MICHÁLEK J., MILITKÝ J., SALAČ V., SANKOT P., VOKOLEK V., 2008b: Archeologie pravěkých Čech 7. Doba laténská. Archeologický ústav AV ČR, Praha, 164 s., ISBN 978-80-86124-80-3.
- VENCLOVÁ N., NEÚSTUPNÝ E., MALKOVSKÝ M., ŽÁKOVÁ B., VALTEROVÁ P., 2001: Výroba a sídla v době laténské. Projekt Loděnice. Archeologický ústav AV ČR, Praha, 399 s., ISBN 80-86124-22-3.
- VESELÝ J., GÜRTLEROVÁ P., 1996: Mediaeval pollution of fluvial sediment in the Labe (Elbe) river, Bohemia. *Věstník Českého geologického ústavu* 71 (1): 51-56.
- VÍTKOVÁ M., KOMÁREK M., TEJNECKÝ V., ŠILLEROVÁ H., 2015: Interactions of nano-oxides with low-molecular-weight organic acids in a contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials* 293: 7-14.
- VONDRÁČKOVÁ S., HEJCMAN M., TLUŠTOŠ P., SZÁKOVÁ J., 2013: Effect of quick lime and dolomite application on mobility of elements (Cd, Zn, Pb, As, Fe and Mn) in contaminated soils. *Polish Journal of Environmental Studies* 22: 577-589.

WITTLINGEROVÁ Z., JONÁŠ F., 2002: Ochrana životního prostředí. Česká zemědělská univerzita v Praze, 132 s., 2. vyd., ISBN 80-213-0754-4.

ZÝKA V., 1974: Stopové prvky v popelu rostlin ze starých hald kutnohorských rudných dolů. Trace elements in ashes of plants from old slag heaps of Kutná Hora mines. Sborník geologických věd. Technologie, geochemie. Journal of geological sciences. Technology, geochemistry 12: 145-155.

ZÝKA V., 1977: Vliv hornické a hutnické činnosti na chemické složení přirozené vegetace a kulturních rostlin v Kutné Hoře. The impact of mining and smelting activities on chemical composition of natural vegetation and cultural plants in Kutná Hora. Sborník geologických věd. Technologie, geochemie. Journal of geological sciences. Technology, geochemistry 14: 83-110.

10. Přílohy

Příloha č. 1: Místa sběru vzorků na mapě studijního území, s barevným rozlišením jednotlivých lokalit sběru.

Příloha č. 2: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitách 1, 2, 4, a 5.

Příloha č. 3: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitách 1, 2, a 5.

Příloha č. 4: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitě 4.

Příloha č. 5: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitě 3.

Příloha č. 6: Terénní odběr vzorků pomocí půdní sondy.

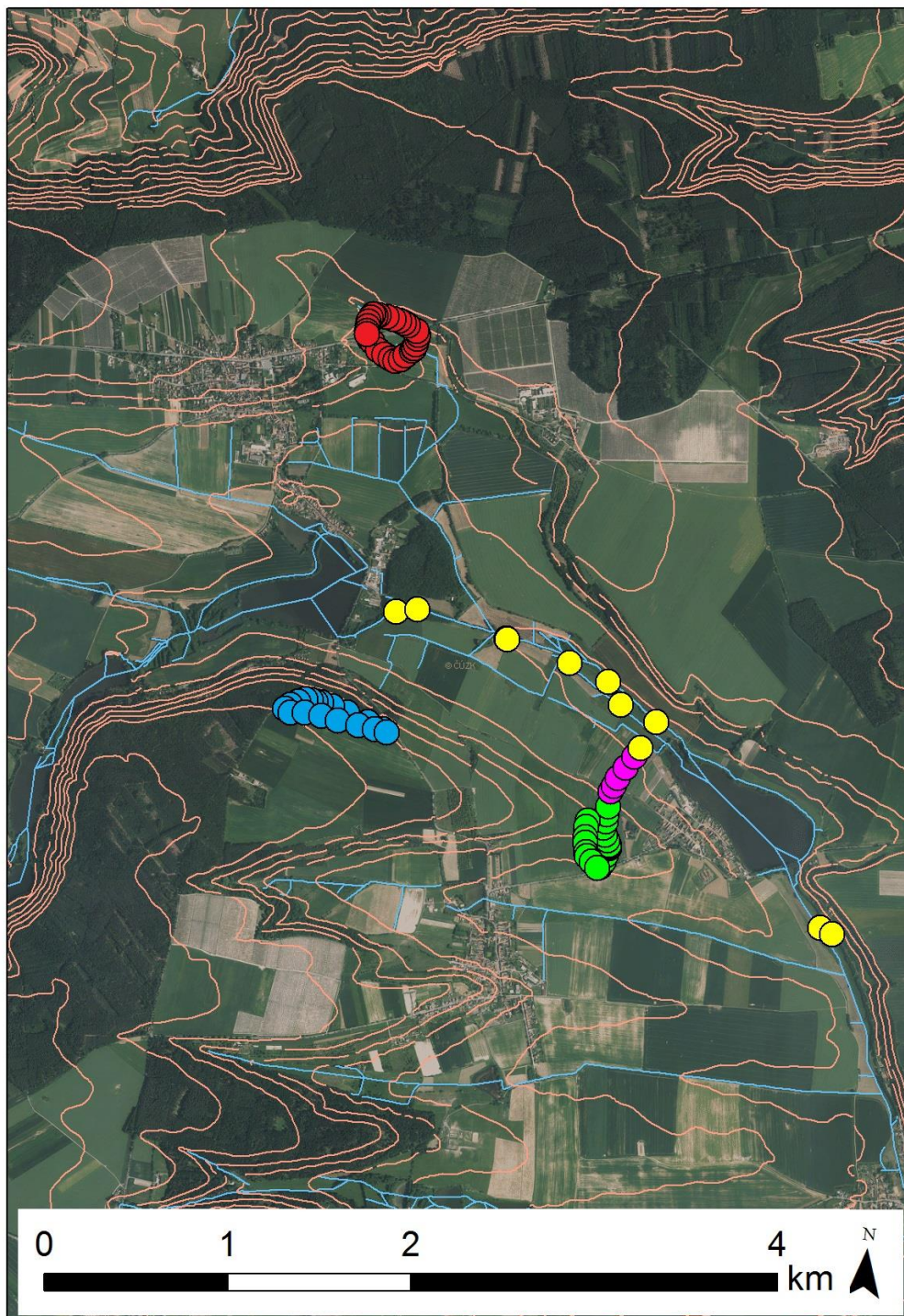
Příloha č. 7: Určování barevnosti půdních vrstev pomocí Munsellovy tabulky.

Příloha č. 8: Seznam a charakteristika vzorků odebraných půdními vrty v lokalitě 1.

Příloha č. 9: Seznam a charakteristika vzorků získaných povrchovým sběrem.

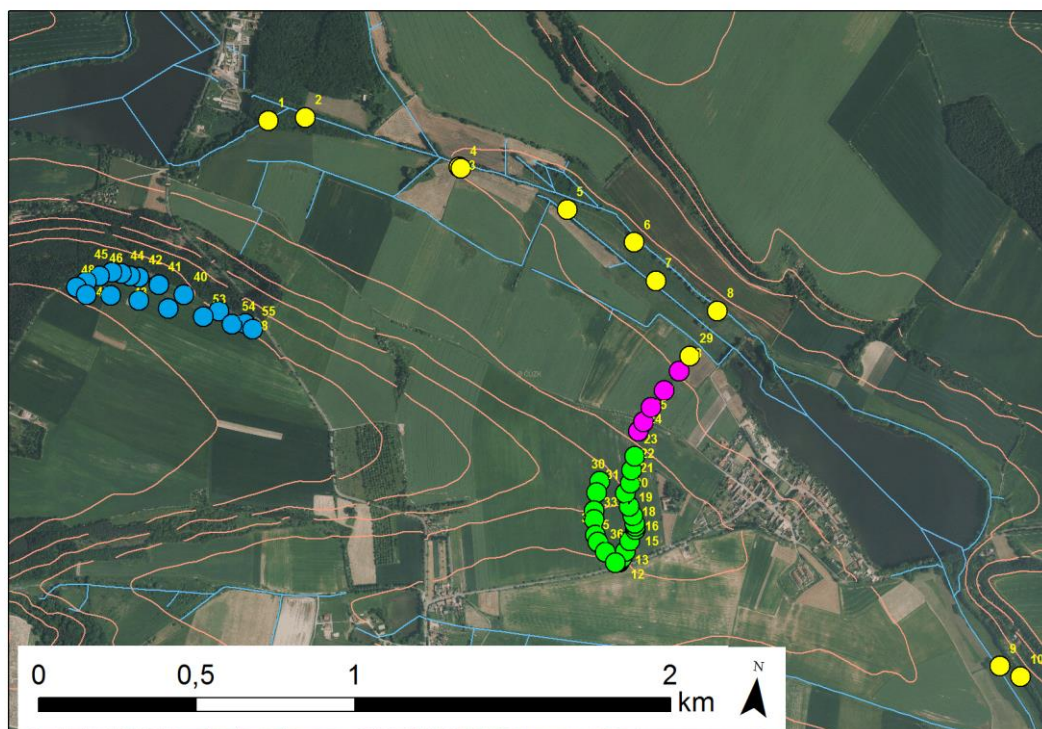
Příloha č. 1: Místa sběru vzorků na mapě studijního území, s barevným rozlišením jednotlivých lokalit sběru.

Legenda: žlutá barva – lokalita 1 (lodenice_aluvium), zelená barva – lokalita 2 (lodenice_smelting), červená barva – lokalita 3 (msec_background), modrá barva – lokalita 4 (zehrovice_background), růžová barva – lokalita 5 (lodenice_slope-aluvium).



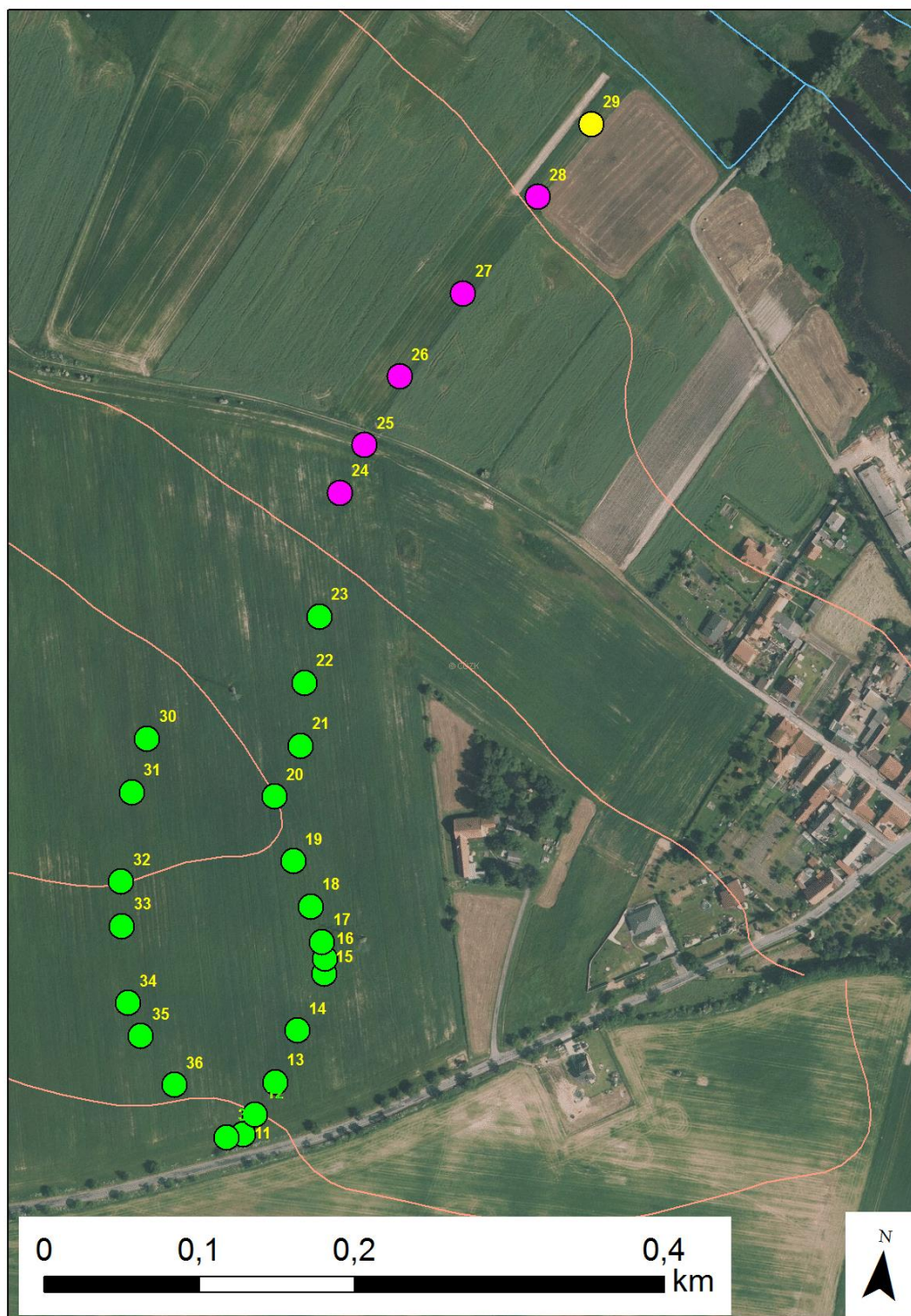
Příloha č. 2: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitách 1, 2, 4, a 5.

Legenda: žlutá barva – lokalita 1 (lodenice_aluvium), zelená barva – lokalita 2 (lodenice_smelting), modrá barva – lokalita 4 (zehrovice_background), růžová barva – lokalita 5 (lodenice_slope-aluvium).



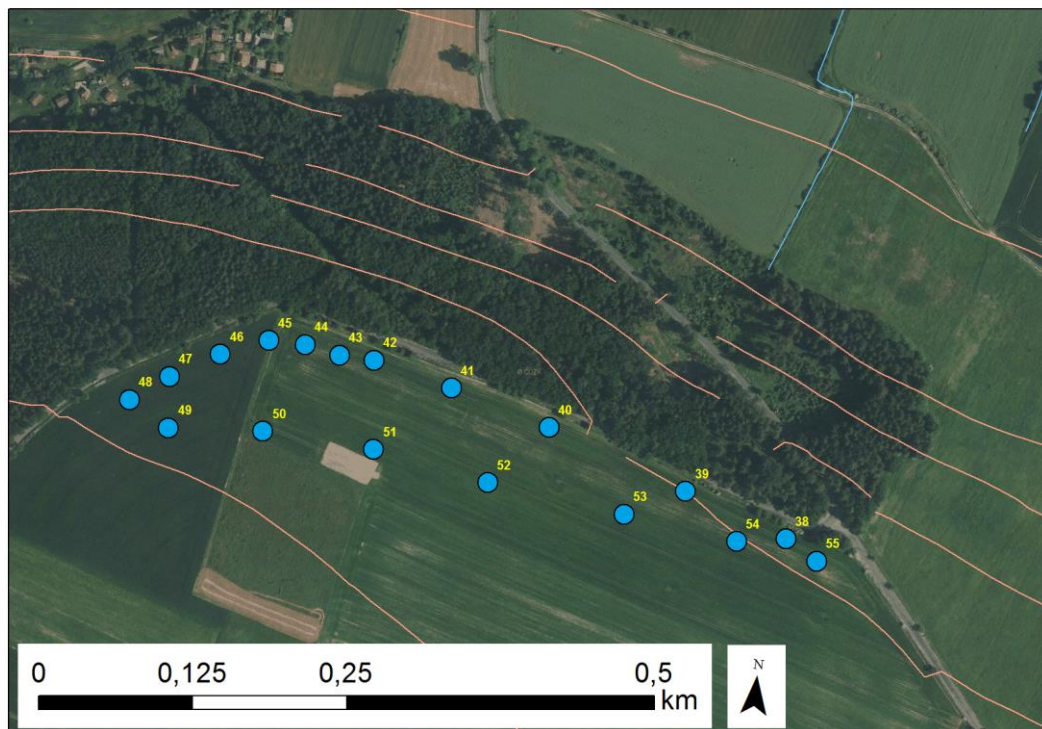
Příloha č. 3: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji
s číslováním vzorků v lokalitách 1, 2, a 5.

Legenda: žlutá barva – lokalita 1 (lodenice_aluvium), zelená barva – lokalita 2
(lodenice_smelting), růžová barva – lokalita 5 (lodenice_slope-aluvium).



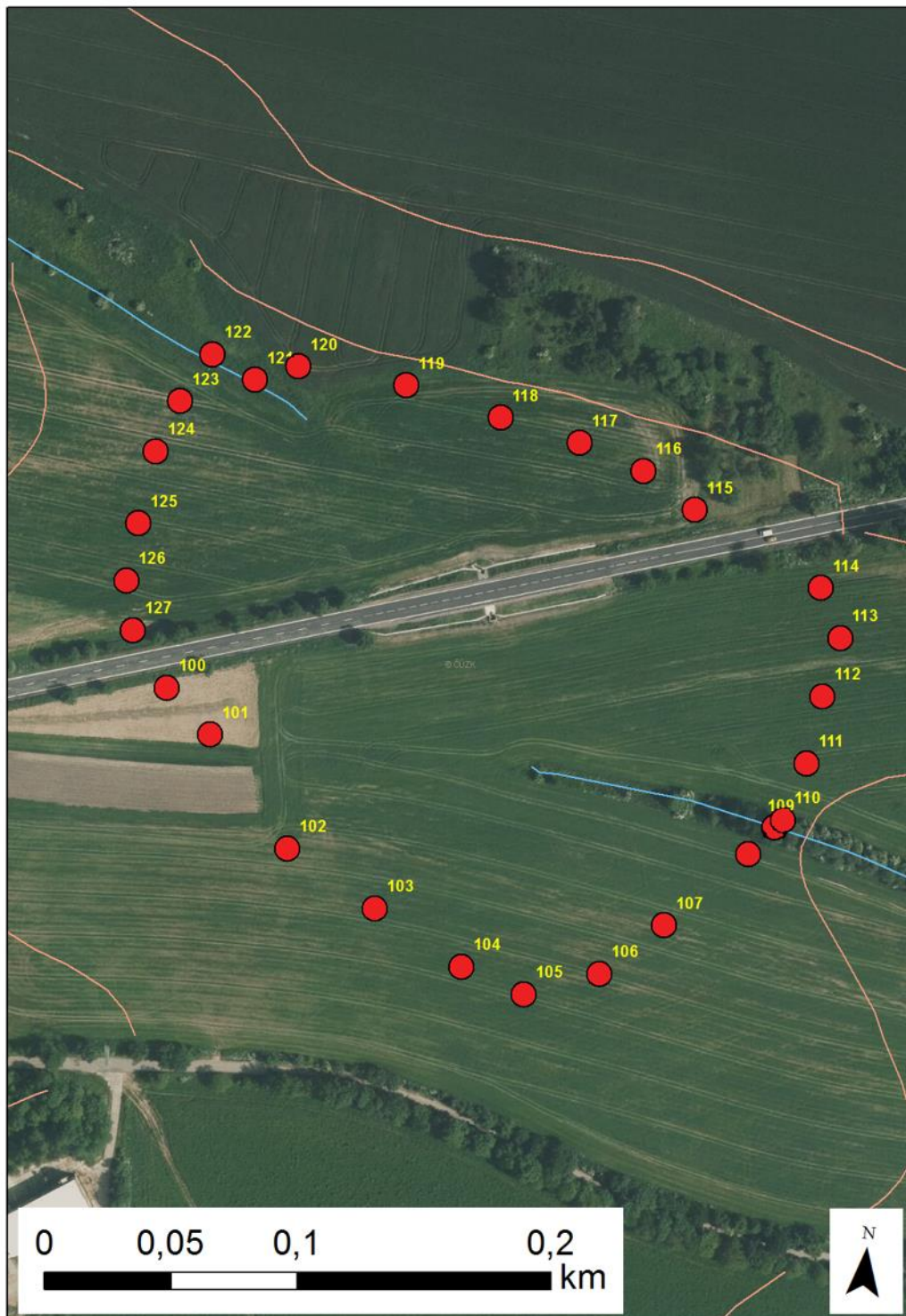
Příloha č. 4: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitě 4.

Legenda: modrá barva – lokalita 4 (zehrovice_background).

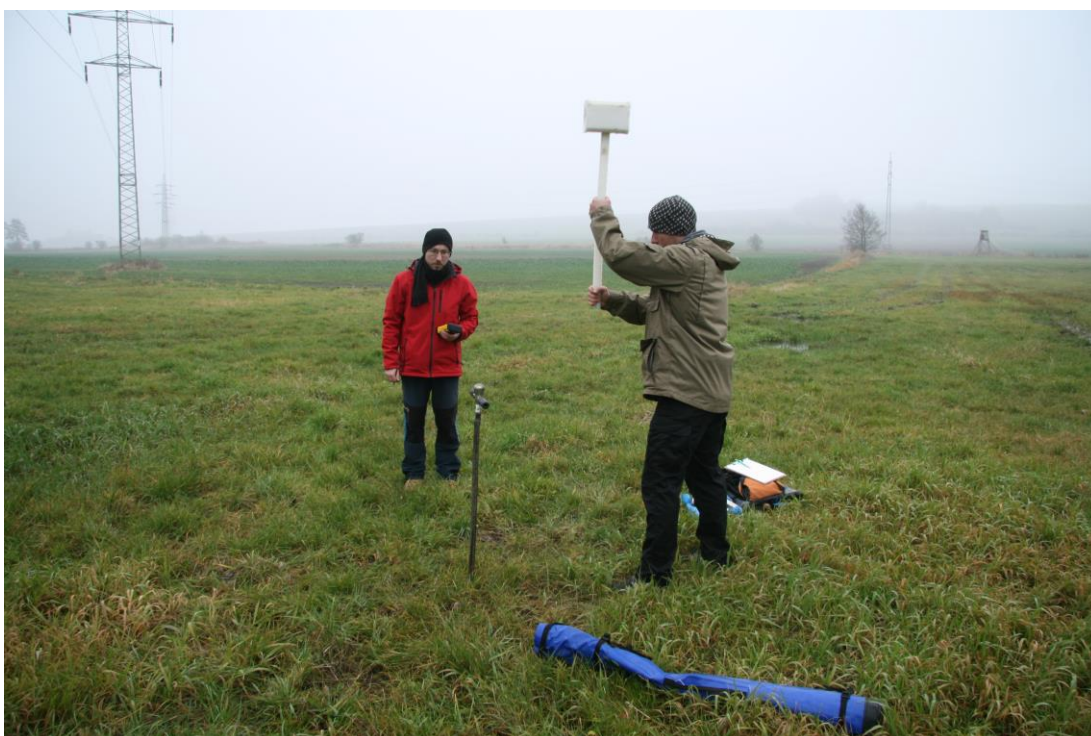


Příloha č. 5: Místa sběru vzorků na mapě studijního území – podrobněji s číslováním vzorků v lokalitě 3.

Legenda: červená barva – lokalita 3 (msec_background).



Příloha č. 6: Terénní odběr vzorků pomocí půdní sondy.



Příloha č. 7: Určování barevnosti půdních vrstev pomocí Munsellovy tabulky.



Příloha č. 8: Seznam a charakteristika vzorků odebraných půdními vrty v lokalitě 1.

Číslo sběru (vrtu)	Popis prostoru sběru	Hloubka odebraných vrstev v cm	Popis vzorku (jednotlivých vrstev vrtu)
1	2 m od toku potoka, listnatý les (dub, javor).	0	Kyprý sediment, hlinitý, prachovitý.
		10	Munsell: 5YR 2,5/2
		20	
		30	Plastičtější než 0 - 20 cm, jílovito-prachovitý sediment.
		40	
		50	
		60	Smíchání nadložní a podložní vrstvy sedimentu.
		70	Jílovito-prachovitý sediment, vlhký, obsahuje zrnka zuhelnatělého sedimentu.
2	5 m od toku potoka, listnatý les (dub).	80	Munsell: 10YR 2/1
		0	Kyprý, mírně prokořeněný, humózní sediment.
		10	Munsell: 10YR 2/1
		20	
		30	Smíchání nadložní a podložní vrstvy sedimentu.
		40	
		50	
		60	Jílovito-prachovitý, plastický, vlhký sediment.
3	15 m od toku potoka, louka, pole, travní porost. Zatlučeno 95cm, ale sklepano na 69cm (popsán a sebrán sklepaný vzorek).	70	Munsell: GLEJ1 2,5/N 3/N
		80	Stejně, jako 60 – 80 cm + písčité frakce.
		0	Jílovito-prachovitý, utuhlý, plastický, vlhký sediment, svrchní část mírně prokořeněná.
		10	Munsell: 10YR 2/1
		20	
		30	Narezlý sediment, jílovito-prachovitý, plastický, promíchaný s nadložím.
		40	Munsell: 10YR 3/4
		50	
4	15 m od toku potoka, 10 m od lokality 3.	60	Smíchání nadložní a podložní vrstvy sedimentu.
		65	Prachovito-písčité, vlhký sediment.
		0	Munsell: GLEJ 1 5/10Y
		10	Hiát (ztráta vzorku).
		20	Jílovito-prachovitý, utuhlý, plastický, vlhký sediment, svrchní část mírně prokořeněná.
		30	Munsell: 10YR 2/1
		40	Hiát (ztráta vzorku).
		50	Jílovito-prachovitý, utuhlý, plastický, vlhký sediment, svrchní část mírně prokořeněná.
		60	Munsell: 10YR 2/1
		70	Narezlý sediment, jílovito-prachovitý, plastický, promíchaný s nadložím.
5	30 m od toku, potoka, louka, travnatý porost.	80	Munsell: 10YR 3/4
		90	Hiát (ztráta vzorku).
		95	Prachovito-písčité, vlhký sediment.
		0	Munsell: GLEJ 1 5/10Y
		10	Jílovito-prachovitý, kyprý sediment.
		20	Munsell: 10YR 2/1
		30	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý, plastický.
		40	Munsell: 10YR 2/1
		50	
		60	Munsell: GLEJ 1 2,5/N
70	Smíchání nadložní a podložní vrstvy sedimentu.		
80	Stejně, jako v 70 cm.		
90	Munsell: 5YR 3/3		
		Stejně, jako v 70 – 80 cm + světle šedivé glejové vložky.	

Příloha č. 8 - pokračování: Seznam a charakteristika vzorků odebraných půdními vrty v lokalitě 1.

Číslo sběru (vrtu)	Popis prostoru sběru	Hloubka odebraných vrstev v cm	Popis vzorku (jednotlivých vrstev vrtu)
6	20 m od toku potoka, louka, travnatý porost.	0	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý. Munsell: 5YR 2,5/1
		10	
		20	
		30	
		40	
		50	
		60	
		70	Stejně, jako 0 – 60 cm + prorezivnění. Munsell: 5YR 2,5/2
		80	Plastický, ulehlý, prachovito-jílovitý sediment. Munsell: GLEJ 1 5/10GY
		97	
7	60 m od toku potoka, travnatý porost.	0	Kypřý, jílovito-prachovitý sediment, 17 – 23 cm hiát (ztráta malé části vzorku). Munsell: 7,5 YR 3/1
		10	
		20	
		30	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý, plastický, vlhký. Munsell: 7,5YR 2,5/3 / GLEJ 1 4/1
		40	
		50	
		60	
		70	Stejně, jako 0 – 20 cm. Munsell: 10YR 3/4
		80	Stejně, jako 30 – 70 cm.
		90	
8	10 m od potoka, vrt se ihned zaplnil vodou.	0	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý, plastický, na bázi okrové nádechy, převládá hnědá barva. Munsell: 7,5YR 3/1
		10	
		20	
		30	
		40	
		50	
		60	
		70	
		80	
		90	
9	5 m od toku potoka, nejnižší místo, travnatá louka.	0	Jílovito-prachovitý sediment, ulehlý. Ztráta části vzorku (hiát, poškození vlivem kroucení sondy při jejím vytahování z půdy).
		10	
		20	
		30	
		40	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý, plastický sediment. Munsell: 7,5YR 2,5/2
		50	
		60	
		70	Prachovito-jílovitý sediment, ulehlý, plastický sediment, barva šedá a okrová. Munsell: GLEJ 1 3/N - 5YR 4/6
		80	
		90	
100			
10	70m od toku potoka, koryto náhonu mlýna.	0	Hiát (ztráta vzorku).
		10	
		20	Písčitý, kypřý sediment, humózní. Munsell: 5Y 2,5/1
		30	
		40	Písčitý sediment, různé odstíny šedé a hnědé, svrchní část částečně humózní.
		50	
		60	
		70	
		80	
		90	

Příloha č. 9: Seznam a charakteristika vzorků získaných povrchovým sběrem.

Číslo vzorku	Lokalita
29	Lokalita 1 (lodenice_aluvium)
11 – 23 a 30 - 37	Lokalita 2 (lodenice_smelting)
100 - 127	Lokalita 3 (msec_background)
38 – 55	Lokalita 4 (zehrovice_background)
24 - 28	Lokalita 5 (lodenice_slope-aluvium)